



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



*Ministero dello Sviluppo Economico*

## RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

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.

*F. Reale, M. Sarnataro, S. Scarfogliero, G. F. Iuliano, A. Buonomano*



*Università degli Studi di Napoli Federico II*

Report RDS/2010/177

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.

Autori: F. Reale<sup>1</sup>, M. Sarnataro<sup>1</sup>, S. Scarfogliero<sup>1</sup>, G. F. Iuliano<sup>1</sup>, A. Buonomano<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup> Dipartimento DETEC dell'Università Federico II di Napoli)

Settembre 2010

Report Ricerca Di Sistema elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Produzione e fonti energetiche

Tema: Sviluppo di un modello di calcolo per lo studio di scenari energetici basati sull'impiego delle celle a combustibile a carbonati fusi con biogas prodotto da diverse tipologie di biomasse e/o rifiuti.

Responsabile Tema: Angelo Moreno, ENEA

I dati e i parametri elaborati dal modello di calcolo fanno riferimento al Rapporto Finale elaborato nell'anno 2009, relativo all' Accordo di Programma MSE-ENEA sul Tema di ricerca 5.2.5.11 "Celle a combustibile per applicazioni stazionarie cogenerative".

Le documentazioni a riguardo sono:

- Censimento potenziale energetico biomasse, metodo indagine, atlante Biomasse su WEB-GIS. (Autori: V. Motola, N. Colonna, V. Alfano, M. Gaeta, S. Sasso, V. De Luca, C. De Angelis, A. Soda, G. Braccio)
- Analisi e stima quantitativa della potenzialità di produzione energetica da biomassa digeribile a livello regionale. Studio e sviluppo di un modello per unità energetiche Parte 1 – Metodologia. (Autori: F. Reale, R. Stolica, M. Gaeta, M. Ferri, M. Sarnataro, V. Vitale);
- Analisi e stima quantitativa della potenzialità di produzione energetica da biomassa digeribile a livello regionale. Studio e sviluppo di un modello per unità energetiche Parte 4 - Studio di un modello energetico. (Autori: F. Reale, R. Stolica, M. Gaeta, M. Ferri, M. Sarnataro, V. Vitale)

Si ringrazia, inoltre:

- l'Ing. Viviana Cigolotti di ENEA - UTTP CHIA, per la preziosa collaborazione e per il supporto tecnico fornito in ciascuna fase decisionale;
- la LELIG company (di Raffaele Liguoro), per aver messo a servizio del presente studio le proprie competenze informatiche.

Il lavoro è stato realizzato con la supervisione dell'Ing. Angelo Moreno di ENEA - UTRINN, referente del tema di ricerca di sistema 5.2.5.11 "Celle a combustibile per applicazioni stazionarie cogenerative"

## Sommario

PREMESSA .....	1
COME NASCE IL SOFTWARE A.I.D.A. ....	3
PROGRESSI DAL SOFTWARE ALLA PIATTAFORMA WEB .....	7
DATABASE “ATLANTE DELLE BIOMASSE” .....	12
RIELABORAZIONE DEI DATI.....	13
Settore: Zootecnia .....	13
Settore: Frazione Organica dei Rifiuti Solidi Urbani .....	20
Settore: Fanghi prodotti da impianti di depurazione delle acque reflue urbane .....	21
Altri settori.....	22
DESCRIZIONE DELLA PIATTAFORMA WEB A.I.D.A. ....	23
Passaggio 0: Scelta della tipologia di utente .....	25
Passaggio 1: Disponibilità delle biomasse .....	28
Passaggio 2: Scelta della tecnologia di digestione anaerobica .....	32
Passaggio 3: Produzione di Biogas .....	37
Passaggio 4: Analisi Energetica .....	37
Passaggio 5: Aspetti Economici.....	40
Passaggio 6: Aspetti ambientali .....	48
Area amministratore .....	50
SVILUPPI FUTURI DEL MODELLO A.I.D.A. ....	51
CONCLUSIONI .....	57
BIBLIOGRAFIA .....	60
ALLEGATO TECNICO.....	62

## *Analisi di Impianti di Digestione Anaerobica*

### *Parte 1 – Descrizione del Servizio Web A.I.D.A.*

#### **PREMESSA**

Il tema oggetto della ricerca pone l'attenzione su una questione fondamentale che sta vivendo negli ultimi anni un'ascesa significativa: promuovere la produzione di energia da fonti rinnovabili come risposta alla crisi energetica e al tema della riduzione dei rifiuti e delle emissioni di gas climalteranti.

Con il termine “biomassa” ci si riferisce ad una gran quantità di materiali di natura estremamente eterogenea. Con alcune eccezioni, si può dire che è biomassa tutto ciò che ha matrice organica. Sono da escludere le plastiche e i materiali fossili, che, pur rientrando nella chimica del carbonio, non hanno nulla a che vedere con la caratterizzazione, che qui interessa, dei materiali organici. La biomassa rappresenta la forma più sofisticata di accumulo dell'energia solare. Questa, infatti, consente alle piante di convertire la CO<sub>2</sub> atmosferica in materia organica, attraverso il processo di fotosintesi, durante la crescita. In questo modo, vengono fissate complessivamente circa  $2 \cdot 10^{11}$  tonnellate di carbonio all'anno, con un contenuto energetico dell'ordine di  $70 \cdot 10^3$  Mtep<sup>1</sup>. La biomassa, attraverso il processo della fotosintesi, cattura la radiazione solare e la trasforma in energia chimica; essa costituisce quindi una risorsa rinnovabile ed inesauribile, se opportunamente utilizzata, per la produzione di altre forme di energia.

È necessario, però, sottolineare che le biomasse non sono rinnovabili tout court, ma che sono invece potenzialmente rinnovabili: se l'approvvigionamento di una centrale a biomasse è assicurato dal disboscamento di una foresta, non si tratta ovviamente di una risorsa rinnovabile. Se, invece, si attrezzava una certa area a piantagione colturale in modo che questa fornisca ogni anno la quantità di biomassa necessaria alla centrale, allora si ha a che fare con una risorsa rinnovabile. Se si utilizzano scarti della lavorazione del legno, oppure sottoprodotti colturali, ramaglie raccolte dalla pulizia e dalla manutenzione dei boschi o reflui zootecnici, non solo si ha a che fare con una risorsa rinnovabile, ma si contribuisce anche al riutilizzo di sottoprodotti e scarti che, nella maggior parte dei casi, sarebbero conferiti in discarica o anche bruciati senza alcun controllo delle emissioni. La valutazione della sostenibilità ambientale, invece, deve tener conto non solo della provenienza della materia prima, ma anche delle implicazioni del suo utilizzo a fini energetici. Ad esempio, la rimozione di residui agricoli dovrebbe essere soppesata

<sup>1</sup> LEAP Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

valutando, oltre ai benefici della bioenergia, anche le pratiche agricole (ad esempio, la combustione a bordo campo) e la rimozione di nutrienti dal suolo (che poi devono essere reintegrati con l'applicazione di fertilizzanti).

La biomassa è per sua natura una risorsa distribuita sul territorio. Il problema della penetrazione delle biomasse all'interno del mercato dell'energia dipende, da una parte, da un'adeguata valorizzazione della componente energetica e dall'altra, da una necessaria pianificazione territoriale che tenga conto degli aspetti macroeconomici, quali le risorse potenziali, i conti economici delle colture ed il mercato economico dei combustibili alternativi alla biomassa, e di quelli "macroecologici", quali il degrado ambientale e le caratteristiche geologiche e pedoclimatiche della zona in esame. Un aspetto rilevante consiste nella frammentazione fondiaria, che limita le capacità delle singole aziende agricole di programmare interventi per nuove coltivazioni e di dotarsi di macchine necessarie alle lavorazioni ed alla raccolta dei residui. In questo contesto è di fondamentale importanza la realizzazione di forme associative tra proprietari, ma anche di un contoterzismo che possa contenere i costi relativi al comparto impiantistico. Non bisogna inoltre dimenticare che, se la produzione di energia è continua durante l'arco dell'anno, non lo è altrettanto la disponibilità di biomassa.

L'inarrestabile esaurimento delle tradizionali fonti energetiche ed i conseguenti aspetti economici legati a questa situazione di carattere internazionale, stanno sensibilizzando sempre più le diverse politiche nazionali sulla necessità di produrre energie alternative che per le esigenze umane possono essere inesauribili. In particolare la biomassa costituisce un potenziale interessante nell'ambito dell'economia di ciclo: il biogas ottenuto dalla fermentazione di substrati organici, quali le deiezioni animali, risulta essere di particolare interesse poiché rappresenta una nuova fonte di reddito e la sua produzione viene incentivata dai governi di molti paesi attraverso specifiche sovvenzioni.

## COME NASCE IL SOFTWARE A.I.D.A.

La consapevolezza del crescente interesse nel settore del recupero energetico dalle biomasse ha spinto la ricerca ad investire nella realizzazione di uno strumento in grado di fornire informazioni riguardanti i potenziali produttivi relativi ad un determinato ambito territoriale e sulla base di questi effettuare un'analisi energetica di un impianto di digestione anaerobica in modo da evidenziare le possibilità di recupero energetico dalle biomasse-rifiuti di origine antropica, colturale, industriale ed agroalimentare.

È in questo contesto che si inserisce l'implementazione di un sistema che si presenti come uno strumento utile agli addetti ai lavori, amministratori pubblici e decision makers per lo sviluppo di sistemi integrati che utilizzano biogas da biomasse e rifiuti per produrre energia elettrica e calore.

Il modello di calcolo, denominato A.I.D.A (acronimo di Analisi di Impianti di Digestione Anaerobica) consente di affrontare l'analisi di fattibilità, di analizzare tutti gli scenari possibili nel proprio contesto aziendale e non solo, individuando le reali possibilità dell'investimento sia per le imprese agricole che per i tecnici e/o imprenditori che intendono sostenere la realizzazione di impianti di digestione anaerobica.

Questo studio nasce sulla scorta dei risultati elaborati lo scorso anno dal Rapporto Finale dell' Accordo di Collaborazione tra ENEA e DETEC Università degli Studi di Napoli Federico II facente parte dall'Accordo di Programma MSE-ENEA sul Tema di ricerca 5.2.5.11 "Celle a combustibile per applicazioni stazionarie cogenerative"[1]. Tale risultato consiste in un censimento delle Biomasse (di cui si riporta un risultato<sup>2</sup> parziale nella Tabella 1) sull'intero territorio italiano divulgato anche mediante l'implementazione di una piattaforma software interattiva, operante in modalità GIS , da utilizzare come supporto alle decisioni per la scelta e la localizzazione dei bacini energetici ottimali per produzioni energetiche, tenendo conto degli aspetti logistici, geografici e tecnico economici che riguardano le filiere energetiche da Biomasse[2].

---

<sup>2</sup> Per ulteriori approfondimenti di rimanda al "Report RSE/2009/182"

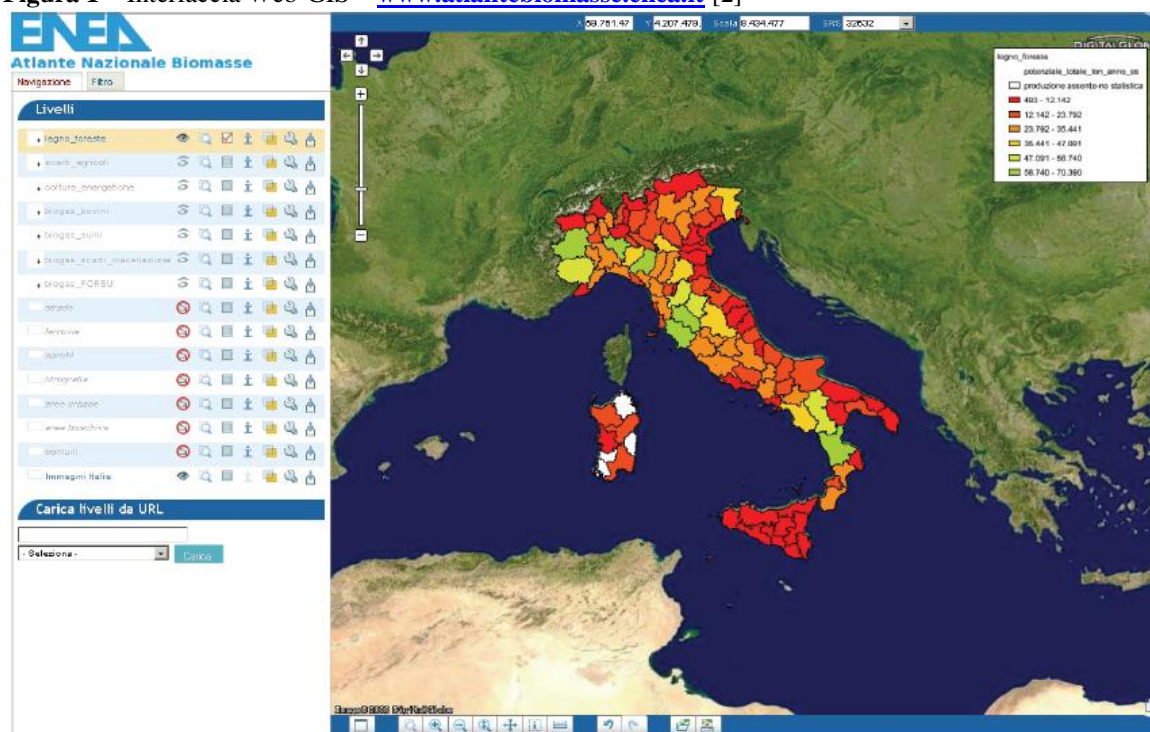
Tabella 1 - Produzione potenziale di biomassa e di biogas in Italia [1]

Tipologia di biomassa	Produzione annua di biomassa	Produzione annua di biogas (M.Nm <sup>3</sup> )
FORSU	1,4 M.ton di fraz. umida	197,7
Acque Reflui Civili	2 M.ton di fango biologico	427
Settore Zootecnico Suino	17 M.m <sup>3</sup> di liquame	284,7
	0,75 M.ton di letame	61
Settore Zootecnico Bovino	80,6 M.m <sup>3</sup> di liquame	1128
	10,2 M.ton di letame	344
<b>TOTALE</b>		<b>2442,4 Mil.Nm<sup>3</sup> di biogas/anno</b>

Fonte: Elaborazioni dati "Atlante Italiano delle Biomasse" ([www.atlantebiomasse.enea.it](http://www.atlantebiomasse.enea.it))

I risultati parziali riportati in tabella rappresentano il potenziale lordo di disponibilità di biomassa recuperabile dalle matrici in questione.

Figura 1 – Interfaccia Web-GIS – [www.atlantebiomasse.enea.it](http://www.atlantebiomasse.enea.it) [2]



L'effettiva disponibilità e possibilità di raccolta ed approvvigionamento è naturalmente inferiore: alcune biomasse trovano già altri utilizzi, per molte altre la raccolta, il confezionamento ed il trasporto risultano difficili ed onerosi, e oltretutto bisogna tener conto della soglia minima dimensionale che renda conveniente il recupero energetico delle stesse. La percentuale di effettiva disponibilità può variare dal 30% al 70% a seconda del



tipo di biomassa e della sua localizzazione. Come ordine di grandezza, si può affermare che almeno il 50% del totale stimato può essere utilizzato per usi energetici.

Si tenga inoltre presente che i risultati riportati in tabella non abbracciano l'intera gamma delle tipologie di biomasse; altre matrici, redditizie sotto il profilo del recupero energetico, non sono riportate tra i risultati elaborati (settore agro-industriale, scarti colturali, etc...). Si ritiene opportuno sottolineare questo aspetto che risulta utile per garantire comunque un approccio in termini conservativi.

Il software A.I.D.A. realizzata a valle del suddetto studio, si presenta quindi come un modello "preliminare" di calcolo in grado di effettuare l'analisi energetica delle principali catene "Waste to Energy" basate su biomasse ad elevato contenuto organico e quindi idonee al processo di digestione anaerobica (titolo del Report: "*Studio e sviluppo di un modello per unità energetiche. Parte 4 - Studio di un modello energetico*" - Report RSE/2009/185 [1]). Tale modello è stato sviluppato mediante l'utilizzo del software proprietario FileMaker, scelta dettata dalla semplicità propria dello stesso programma di gestire, tramite un linguaggio "a script", i calcoli e l'interfaccia grafica.

Lo scopo principale dell'attuale tema di ricerca, invece, dal titolo "*Sviluppo di un modello di calcolo per lo studio di scenari energetici basati sull'impiego delle celle a combustibile a carbonati fusi con biogas prodotto da diverse tipologie di biomasse e/o rifiuti*", legato alla seconda annualità dell'Accordo di Programma MSE-ENEA affidata al DETEC, propone l'aggiornamento e il miglioramento del suddetto modello preliminare di calcolo.

Si è scelto di realizzare una piattaforma web-based, in grado di gestire dinamicamente una consistente mole di dati in continuo aggiornamento. Tale piattaforma ha come vantaggio principale quello della consultazione simultanea ed interattiva da parte di più utenti, i quali oltre a consultare i dati in essa contenuti possono partecipare attivamente all'inserimento ed alla modifica delle informazioni, rendendole immediatamente disponibili per tutti gli altri utenti. Tale esigenza ci ha condotti alla scelta di trasformare il software AIDA da semplice programma locale monoutenza, limitato all'utilizzo individuale, ad un applicativo installato su server che offre maggiori prestazioni sia in termini di disponibilità di dati che di efficienza globale della piattaforma.

Tale sistema si concretizza nella realizzazione di una serie di interfacce e librerie di calcolo, successivamente integrate nella piattaforma principale, per la modellizzazione delle singole unità di un sistema integrato "Waste to Energy", dalla produzione di

biomassa all'effettivo utilizzo del biogas prodotto in sistemi cogenerativi, andando a valutare sia aspetti puramente tecnici ed energetici che economici.

Questo significa incorporare l'A.I.D.A nelle sue componenti primarie al fine di rendere questo uno strumento maggiormente flessibile e un modello di calcolo che possa al meglio interpretare le esigenze dei vari operatori nel settore (Ministeri, Regioni, Pubbliche Amministrazioni e singoli imprenditori agricoli e finanziari); esigenze che si concretizzano mediante studi di fattibilità e di convenienza economica per la realizzazione di impianti a biomasse.

## PROGRESSI DAL SOFTWARE ALLA PIATTAFORMA WEB

La reingegnerizzazione del software è avvenuta a valle di una attenta analisi delle potenzialità del suddetto strumento preliminare.

Si ritiene opportuno riportare brevemente una descrizione della prima elaborazione del software in modo da evidenziare i limiti dello strumento in questione che hanno reso necessario l'intervento con una fase di miglioramento e aggiornamento.

Il modello A.I.D.A. implementato con FileMaker [3] presenta una schermata iniziale che descrive i 4 passi fondamentali, così come indicato in Figura 2.

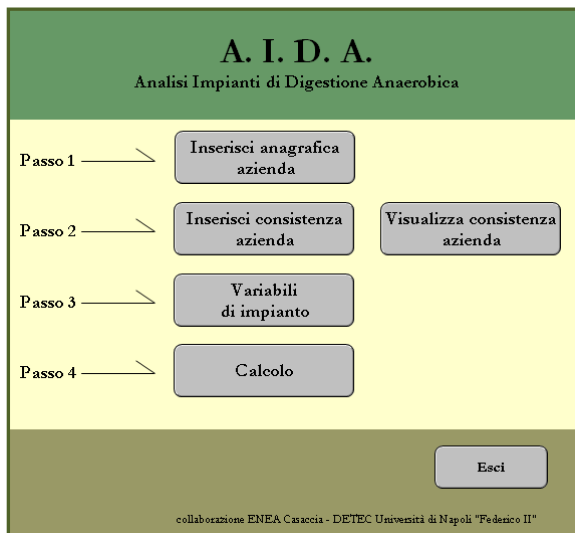


Figura 2 – Definizione dei Passi fondamentali dell’A.I.D.A.-Filemaker [2]

Il passo 1 → **Inserisci anagrafica azienda**

prevede la richiesta delle informazioni relative all’anagrafica azienda. Tale soluzione si presta perfettamente se l’utente è rappresentato dall’imprenditore agricolo che intende analizzare la potenzialità della propria azienda nell’ottica di una valorizzazione energetica dei rifiuti prodotti dalla propria attività.

Qualora l’utente fosse un Ente di Gestione Territoriale, il modello mostra i suoi limiti; l’interesse di una Pubblica Amministrazione risiede nella valutazione della convenienza economica della valorizzazione energetica delle biomasse su una scala più ampia, magari a livello di consorzio di più aziende, o ancor maggiore nel caso di una valutazione del potenziale su scala comunale. Lo strumento non offre la possibilità di elaborare dati di più aziende simultaneamente né tantomeno può elaborare le informazioni relative al potenziale contestualizzato sul territorio nazionale, poiché non dispone di un database alla base che relazioni il potenziale delle biomasse con il territorio.

Passo 2 → **Inserisci consistenza azienda**

In questa fase si visualizza la schermata che segue (Figura 3); questa consente all'utente di scegliere la consistenza relativa al proprio impianto, ossia la tipologia di substrato da trattare. Effettuata la scelta l'elaborazione prosegue mediante il pulsante "Aggiungi".

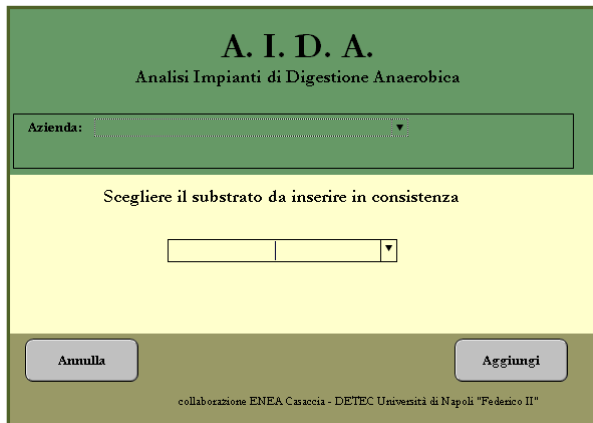


Figura 3 – Passo 2

La schermata successiva (Figura 4) consente l'inserimento della quantità di substrato prevista per il trattamento e riporta le caratteristiche fisiche della matrice prescelta relative al contenuto dei solidi totali, della sostanza organica e il valore di produzione specifica di biogas (come valore medio fornito da studi di settore).

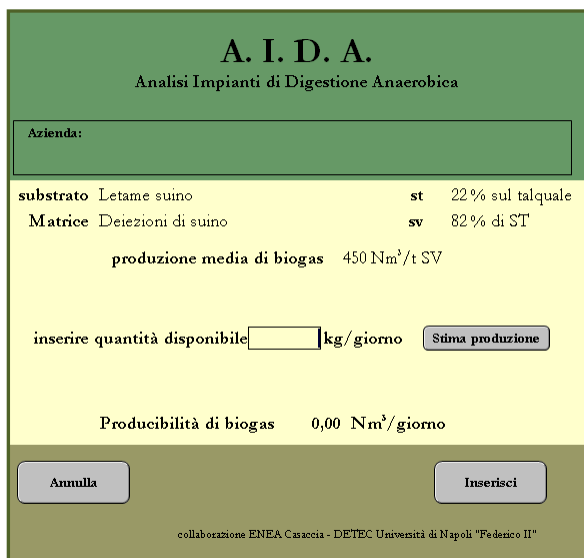


Figura 4 – Inserimento consistenza impianto

Il software offre la possibilità di codificare anche più matrici e fornire la quantità di biogas producibile come somma algebrica dei contributi relativi di ciascuna tipologia di substrato.

Passo 3 → **Variabili di impianto**

In questa fase è possibile operare una serie di scelte sia per la tipologia di trattamento da adottare (Umido, Secco, Semisecco nelle diverse condizioni di temperatura, ossia

Mesofilia e Termofilia) per la sezione anaerobica, sia per la tecnologia impiantistica relativa alla sezione cogenerativa (MCI, TAG, MCFC) da cui derivano scenari energetici differenti. Si intende, in questa nuova fase di lavoro, ampliare il pacchetto relativo alle informazioni sulla tecnologia fornendo ad esempio la possibilità di adottare, per il proprio impianto, una soluzione impiantistica monostadio o bistadio, specificando naturalmente i vantaggi-svantaggi (in termini tecnici ed economici) dell'uno e dell'altro e proporre un sistema miscelato o meno (flusso a pistone) in base alle caratteristiche dei substrati.

Tipo impianto	Percentuale di ST consigliata		Carico organico [kg/m³ d]	Tempi di ritenzione [giorni]		
	Min	Max		Min	Max	Med
Umido - termofilo	1	10	4,0	10	15	13
Semi-secco - mesofilo						
Semi-secco - termofilo						
Umido - mesofilo						
Umido - termofilo						

Temperatura ambientale:  °C    Temperatura media biomassa:  °C

Tipo di generatore:

Digestore: Altezza minima  m    Altezza massima  m  
Diametro massimo  m

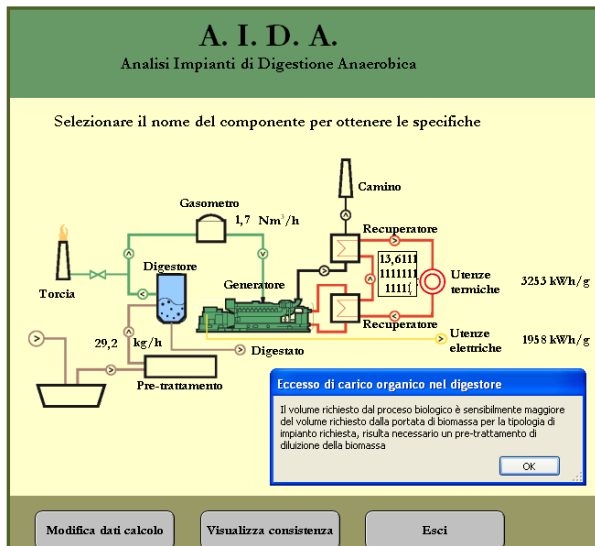
collaborazione ENEA Casaccia - DETEC Università di Napoli "Federico II"

Figura 5 – Variabili di impianto

All'interno della stessa sezione è previsto il dimensionamento preliminare del digestore. Questa fase di calcolo presenta dei conflitti qualora la consistenza dell'impianto supera un certo valore limite. A tal proposito si rende necessario un miglioramento che superi tale limite dotando il sistema di maggiore flessibilità che sia inoltre adeguato alla possibilità di parzializzare, automaticamente, la quantità di biomassa in più volumi, qualora venga superato un certo valore soglia che lo renda necessario.

Passo 4 →

Calcolo



L'ultimo passo consente di visualizzare lo schema di funzionamento dell'impianto, mettendo in evidenza alcuni parametri utili. In questa fase, inoltre, si ha la possibilità, selezionando il nome di un componente dell'impianto, di visualizzare le specifiche relative. Il limite di questa fase di elaborazione risiede in talune imprecisioni alla base del calcolo del bilancio di massa e di energia.

OSSERVAZIONE: Aspetto fondamentale di un'indagine del genere risiede nell'analisi economica ed ambientale relativa alla realizzazione di un impianto di digestione anaerobica che renda palesi i vantaggi di un investimento nell'ambito del settore "Energia da Biomasse". Ad oggi lo strumento non si spinge fino a tal punto, per cui è indispensabile che la rielaborazione del software curi anche tale aspetto.

Sulla base delle conclusioni fatte a valle dello studio di indagine preliminare dello strumento A.I.D.A., sono stati definiti gli obiettivi del tema di ricerca in questione. L'obiettivo principale perseguito è stato il consolidamento della struttura base originaria con lo scopo di creare uno strumento dinamico e modulare che possa essere in grado di rendere direttamente accessibili e fruibili le informazioni raccolte nel database "Atlante delle Biomasse" (prerogativa assente, fino a questo momento, nel software in questione) e in secondo momento sfruttarle come valido strumento a supporto decisionale per uno studio di fattibilità di impianti a biomasse che sia completo anche della sezione economica (anche questo aspetto sarà un valore aggiunto per la rielaborazione del sistema).

Questo ha spinto ad abbandonare la tecnologia utilizzata (software proprietario Filemaker) per implementare il modello di calcolo A.I.D.A. mediante l'ausilio di una tecnologia più specifica e appropriata, riorganizzando il tutto mediante il supporto di un server-web.

E' stato concepito un database relazionale con lo scopo di memorizzare una consistente mole di dati e fornire un accesso rapido, efficace e simultaneo ad una pluralità di utenti. Questo strumento consente non solo una consultazione della base di dati tramite interrogazioni mediante queries, ma consente anche di manipolare in maniera interattiva gli stessi tramite una GUI (Grafic User Interface) e di analizzarne i valori. Esso è installato su di un server web di tipo Microsoft IIS (Microsoft Internet Information Services, è il nome del server utilizzato), un servizio che si occupa di fornire tramite software dedicato e su richiesta dell'utente, servizi di reporting, pagine web (successivamente visualizzabili dal browser sul PC dell'utente) e altri servizi basati sul protocollo HTTP del web.

Le interfacce elaborate non sono statiche ma continuamente modificabili a seconda delle necessità dell'utente ed è proprio grazie alla loro dinamicità e adattabilità che è possibile guidare l'utente in un percorso di scelte finalizzato a sviluppare un possibile scenario di utilizzo della biomassa considerata. Un database lato server dà inoltre la possibilità di aggiornare le informazioni mediante l'immissione di nuovi dati nello stesso, offrendo quindi la possibilità di gestirlo in modo personalizzato.

Ad oggi il modello si appoggia su un server momentaneo in attesa di essere trasferito dal servizio di hosting su un server più potente allo scopo di ottimizzarne il funzionamento.

Solo allora sarà disponibile il link per accedere al servizio.

## DATABASE “ATLANTE DELLE BIOMASSE”

I risultati ottenuti dalle elaborazioni relative all’Atlante italiano delle biomasse sono il punto di partenza per la ricerca oggetto di studio.

Il rapporto relativo a tali informazioni, riassume azioni e metodologia per la realizzazione del censimento del potenziale energetico delle biomasse in Italia, il cui obiettivo finale è stata la creazione di un sistema informativo territoriale consultabile in modalità WEB-GIS [3]. Il sistema contiene le informazioni sulle potenzialità della biomassa residuale agricola e forestale, il Biogas potenzialmente ottenibile dalla fermentazione anaerobica di reflui di allevamento, scarti di macellazione, Frazione Organica dei Rifiuti Solidi Urbani e la produttività delle colture energetiche erbacee. Le varie tipologie di biomassa censite<sup>3</sup> sono riferite e rappresentate a livello provinciale; il WEBGIS consultabile in rete all’indirizzo [www.atlantebiomasse.enea.it](http://www.atlantebiomasse.enea.it) contiene tutti gli elementi della moderna cartografia elettronica, come vie di comunicazione, aree protette, zone urbane, e immagini satellitari. I geodatabase delle biomasse sono scaricabili come tabelle excel, ma anche messi a disposizione in modalità WMS (web map server) per essere utilizzati in formato geografico da utenti professionali.

La stima delle biomasse residuali è un’importante operazione alla base della pianificazione energetica dell’impiego della risorsa stessa. È infatti importante comprendere quali siano le potenzialità delle biomasse per l’energia e se queste possano significativamente incidere sul bilancio energetico di un territorio in modo economicamente sostenibile e rinnovabile nel tempo.

Come appena esposto il database di cui si dispone fornisce un dato a carattere provinciale; ma volendo dare al nuovo strumento di elaborazione, una potenzialità superiore, lo sforzo iniziale è stato concentrato nella fase di rielaborazione dei dati mirata sia all’approfondimento delle informazioni fino ad un dettaglio comunale, sia al recupero delle informazioni puntuali a livello aziendale, essendo questa di fondamentale rilevanza nell’ambito della politica del recupero energetico da biomasse. La contestualizzazione e la tracciabilità della matrice da trasformare devono essere prerogative indispensabili per un investimento nel settore della “valorizzazione energetica delle biomasse”.

---

<sup>3</sup> Per ulteriori approfondimenti relativi alla metodologia di indagine e alle fonti consultate per la realizzazione dell’Atlante Italiano delle Biomasse si rimanda al “Report RSE/2009/182”



## RIELABORAZIONE DEI DATI

### Settore: Zootecnia

Per quanto riguarda il settore zootecnico bovino-bufalino e suinicolo sono stati recuperati i database originali che custodiscono l'informazione relativa alla localizzazione (Regione, Provincia, Comune) di ciascuna azienda mediante un indirizzo e un codice identificativo; forniscono inoltre la consistenza di capi suddivisi per classi di età, il tipo di orientamento produttivo (a seconda se i capi sono destinati alla produzione di carne, latte o misti) e classificano la modalità di allevamento a seconda se i capi siano tenuti in stalla o alla stato brado. Quest'ultimo aspetto è una nota fondamentale nell'ottica del recupero delle deiezioni in quanto condiziona sia l'aspetto quantitativo che qualitativo<sup>4</sup> delle deiezioni stesse e di conseguenza condiziona anche le rese di biogas delle suddette matrici<sup>5</sup>. Queste informazioni sono inoltre suddivise per regione e riportate separatamente per il settore bovino-bufalino e per il settore suinicolo.

Maggiore attenzione è stata rivolta alla rielaborazione di queste informazioni poiché è stato necessario accorpate la consistenza di capi di aziende bovine e suine ripetute in due database differenti. Questo accade poiché la maggior parte delle aziende zootecniche alleva entrambe le categorie di capi, ma per i nostri scopi era necessario che il database non avesse ripetizioni del genere perché avrebbe creato conflitto in fase di programmazione. Naturalmente si parla di una consistente mole di informazioni, per cui è stato necessario uno studio attento per l'implementazione di una serie di queries in linguaggio SQL e tramite il linguaggio interprete visual basic sono state girate su un motore ASP<sup>6</sup> allo scopo di ottimizzare il sistema informativo.

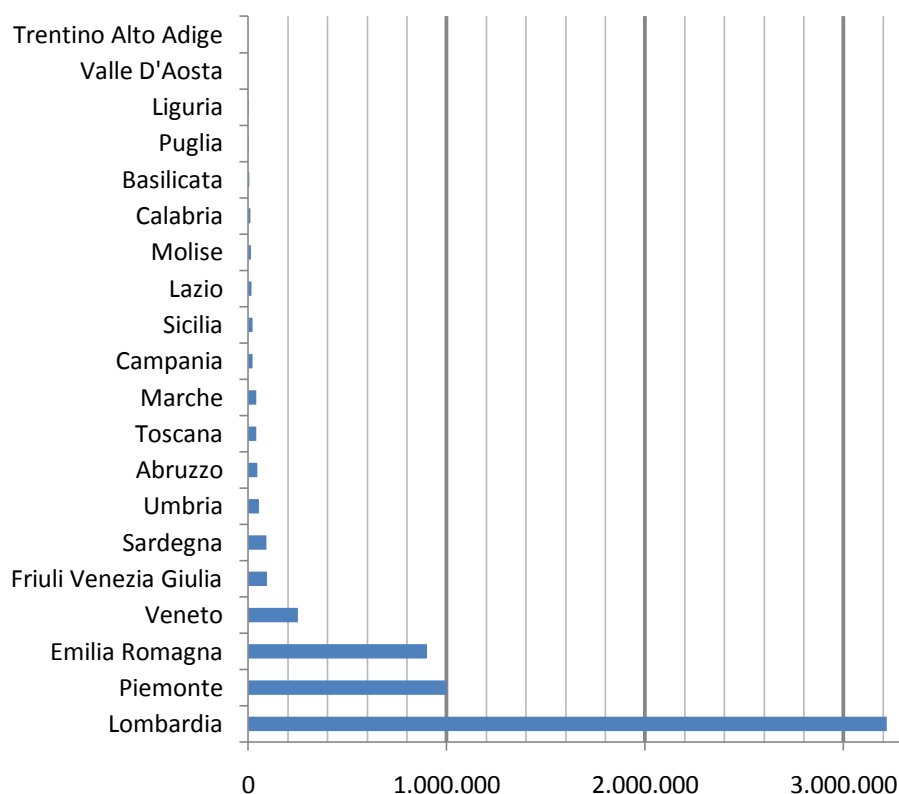
Secondo il censimento fornito dalla Banca Dati Nazionale (BDN) dell'anagrafe zootecnica dell'Istituto Zooprofilattico Sperimentale di Teramo (IZS) [4] il patrimonio suinicolo italiano risulta particolarmente concentrato in tre regioni: la Lombardia detiene quasi la metà del totale dei capi suini allevati in Italia (circa 9 milioni al 2007), seguita dall'Emilia Romagna con il 15% ed il Piemonte con l'11% del totale [1]

<sup>4</sup> Pubblicazione del CRPA [http://www.crupa.it/media/documents/crupa\\_www/Progetti/Seq-Cure/IZ-2009-10-042.pdf](http://www.crupa.it/media/documents/crupa_www/Progetti/Seq-Cure/IZ-2009-10-042.pdf); <http://www.regione.abruzzo.it/xAraen/docs/biogasProgramma/seminario/ChavesLopez-StrategieAumentoProduzioneMetano.pdf>

<sup>5</sup> Per maggiori approfondimenti si rimanda al paragrafo "Sviluppi Futuri del Softwar A.I.D.A."

<sup>6</sup> Per maggiori approfondimenti si rimanda all'Allegato: "Documentazione tecnica – linguaggi di programmazione"

**Figura 6 - Distribuzione del numero di capi suini sul territorio italiano (dati al 2007)**



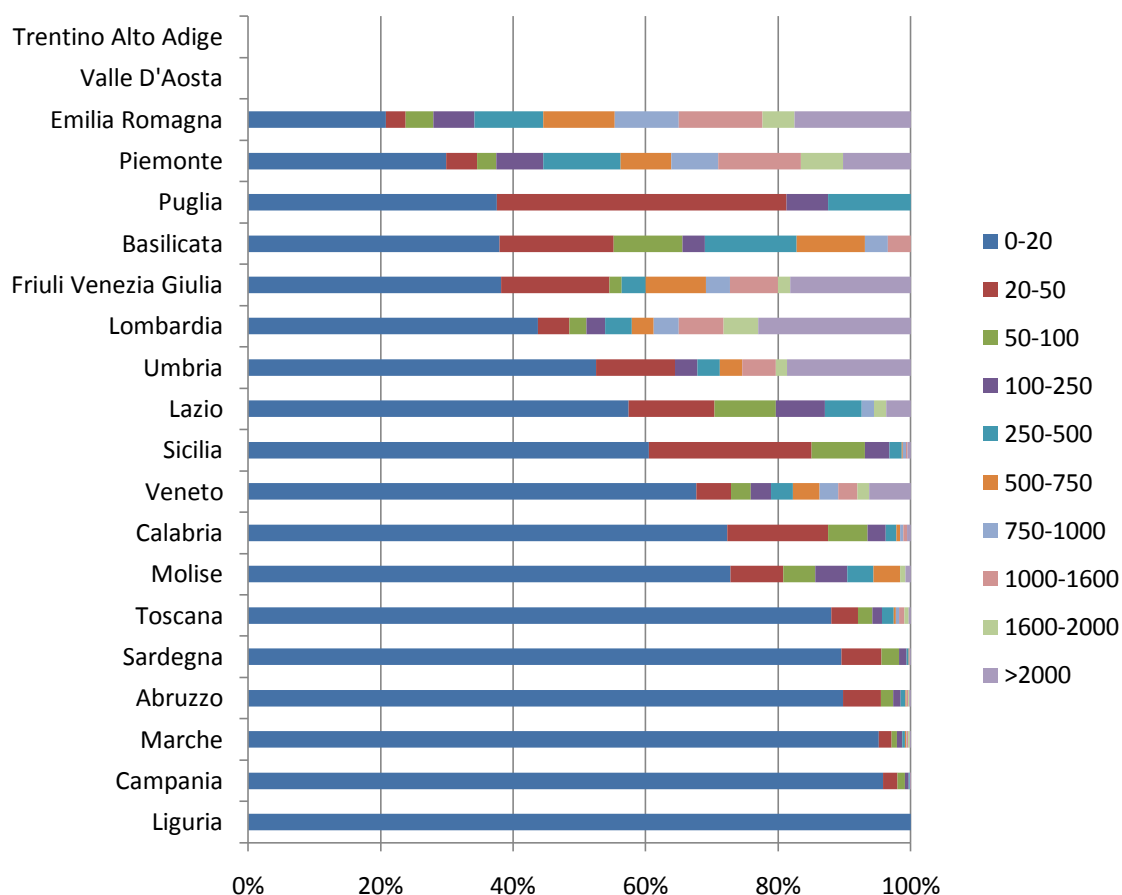
Fonte: Elaborazione dati BDN – IZS, Teramo 2006 [1]

Al 2007 si registrano circa 100.000 aziende e la maggiore concentrazione si ha nelle regioni centro-meridionali, caratterizzate da un elevato numero di piccolissime aziende.

In Italia le aziende con 1-2 capi sono il 64 % del totale. Quelle con più 2000 capi poco più dell' 1%. Le aziende con più di 2000 capi, possiedono tuttavia ben il 74 % del patrimonio suinicolo italiano, mentre quelle che allevano da 1 a 2 capi rappresentano soltanto l'1% del suddetto patrimonio.

La distribuzione per dimensione aziendale evidenzia, che sussiste un elevato numero di piccole aziende, quasi esclusivamente a conduzione familiare, che allevano da 1 a 2 capi destinati quasi totalmente all'autoconsumo. La classe dimensionale più piccola riportata nel grafico che segue è rappresentata da un numero di capi che varia tra "0-20".

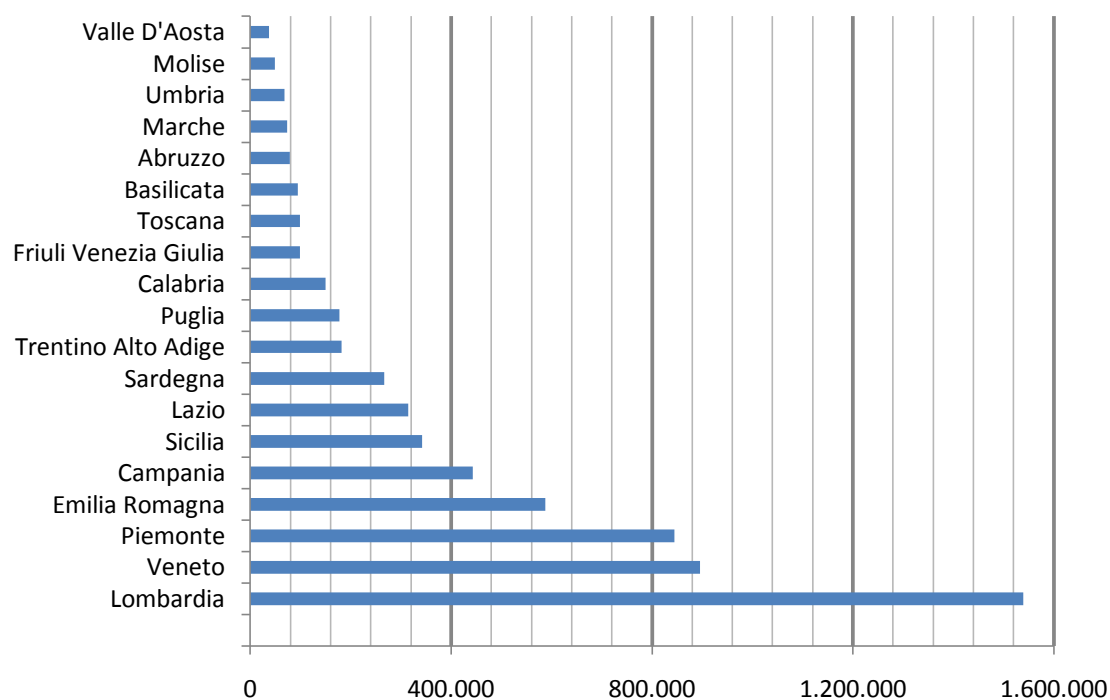
**Figura 7 - Percentuali di aziende suinicole per classi di capi**



Fonte: Elaborazione dati BDN – IZS, Teramo 2006 [1]

Per quanto riguarda il settore bovino-bufalino il patrimonio italiano risulta anch'esso concentrato in poche regioni (Lombardia, Veneto, Piemonte ed Emilia Romagna) di cui la Lombardia (circa 1,6 milioni di capi) detiene da sola il primato essendo in essa concentrato quasi un quarto dell'intero patrimonio nazionale (totale capi: 6,4 milioni di capi), segue il Veneto con il 14%, il Piemonte con il 13% e l'Emilia Romagna con 9%.

**Figura 8 - Distribuzione del numero di capi bovini-bufalini sul territorio italiano (dati al 2006)**

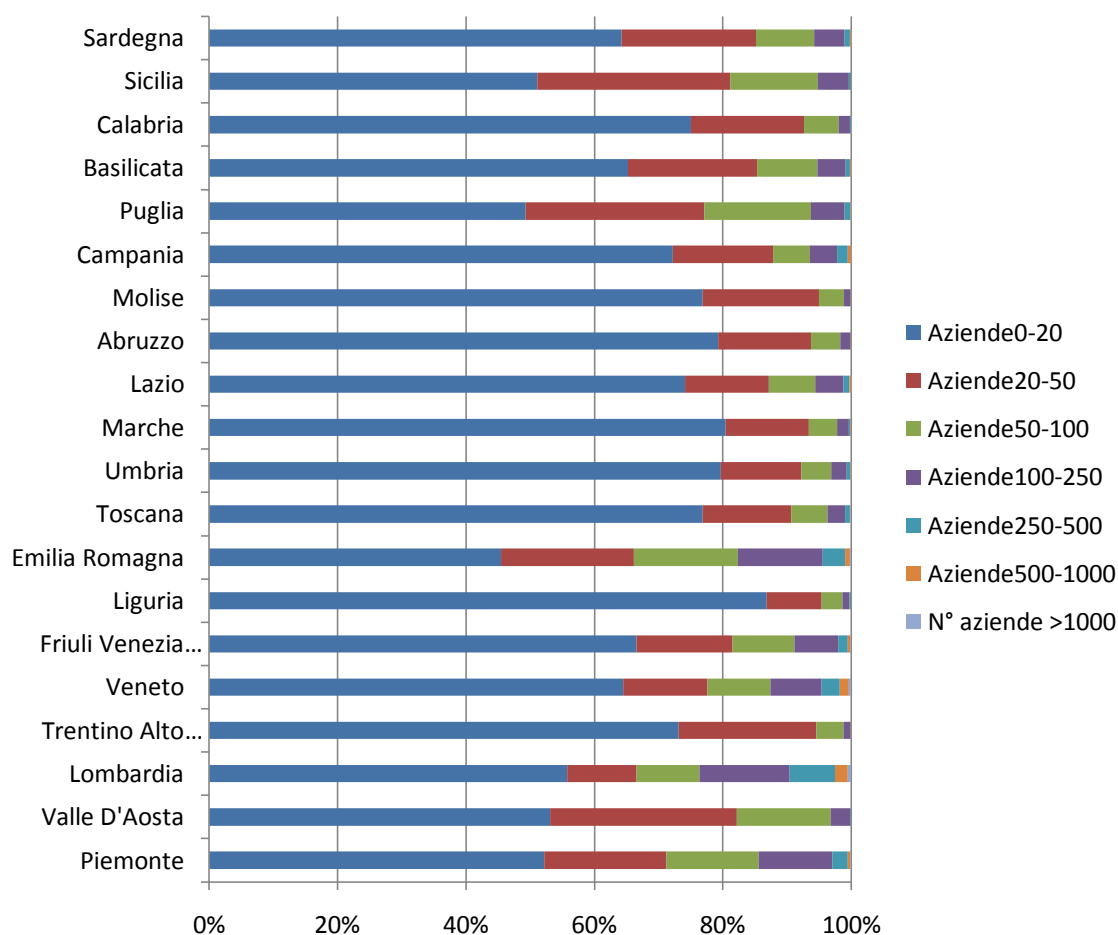


Fonte: Elaborazione dati BDN – IZS, Teramo 2006 [1]

Al 2006 si registrano circa 160.000 aziende bovine e la maggiore concentrazione risulta nelle regioni Lombardia, Veneto, Piemonte e Campania caratterizzate da un elevato numero di aziende di dimensioni molto ridotte.

La distribuzione secondo la dimensione aziendale evidenzia, infatti, che sussiste un elevatissimo numero di piccole aziende, quasi esclusivamente a conduzione familiare, così come per il settore suinicolo, che allevano fino ad un massimo di 20 capi bovini.

**Figura 9 - Percentuali di aziende bovine e bufaline per classi di capi**



Fonte: Elaborazione dati BDN – IZS, Teramo 2006 [1]

Al contrario di quanto osservato per le aziende, il numero di capi totali presente nelle singole regioni è concentrato per lo più in aziende medie. Si osserva che poco più del 60% dell'intero patrimonio bovino è concentrato in aziende con almeno 100 capi, cosa questa, che rende i reflui del comparto bovino molto interessanti ai fini del presente studio.

**Fonti di riferimento:** Le principali fonti di dati disponibili per il settore zootecnico sono: le indagini statistiche sulla zootecnia fornite dall'ISTAT [5] e la banca dati nazionale (BDN) dell'anagrafe zootecnica gestita dall'Istituto Zooprofilattico di Teramo (IZS). Non sono state prese in considerazioni altre banche, come quelle delle associazioni di categoria, in quanto non rispondono alle esigenze di completezza ed ufficialità dei dati richieste dall'indagine.

Le diverse fonti di dati sono state analizzate e confrontate preliminarmente con l'obiettivo di individuare quella o quelle che consentono di rispondere nel modo più completo ed accurato possibile alle richieste specifiche dello studio:

- l'anno di riferimento, il 2006;
- il livello di dettaglio provinciale.

**Tabella 2** – Elaborazione delle fonti per il settore zootecnico

Fonte	Dettaglio territoriale	Anno/i di riferimento	Dettaglio informativo
ISTAT – Censimenti	comunale	1990, 2000	Per categorie, per classi di capi
ISTAT – SPA	regionale	2003, 2005, 2007	Per classi di capi
ISTAT Indagini congiunturali	regionale	2002-2007	Per categorie, solo consistenza bestiame
BDN	comunale	2005-2008	Puntuale

Per il calcolo delle deiezioni suinicole si è fatto riferimento ai parametri utilizzati in un recente studio prodotto dall'ISTAT (2006) dal titolo “Waste statistics on agriculture, forestry and fishing sectors”[6].

L'ISTAT utilizza una suddivisione dei suini in cinque categorie in base al peso medio, per ciascuna delle quali fornisce valori di produzione di deiezioni liquide e solide per peso vivo al giorno.

**Tabella 3** – Parametri per il calcolo delle deiezioni zootecniche suine.

Categorie ISTAT	Peso medio (kg)	Deiezioni liquide (l / 100 kg peso v. giorno)	Deiezioni solide (kg s.s / 100 kg peso v.giorno)
<b>Verri (Boar)</b>	160	8	0,53
<b>Scrofe</b>	160	12,5	0,53
<b>da 20 kg a 50 kg</b>	50	7	0,35
<b>&lt; 20 kg</b>	15	2,5	0,73
<b>Da ingrasso (Fattening)</b>	100	11	0,44

Fonte: Waste statistics on agriculture, forestry and fishing sectors. ISTAT – 2006.

Le informazioni fornite dalla fonte BDN presentano una classificazione diversa per le categorie di suini, così come mostrata nello schema che segue:

**Tabella 4** – Categorie di classi relative al settore suinicolo

Categorie BDN	Peso medio (kg)
Lattonzoli	< 25
Magroncelli	26 - 50
Magroni	51 - 100
Grassi	> 100
Scrofe, scrofette e verri	da riproduzione

Fonte: BDN

Sulla base dei dati appena riportati sono stati elaborati i parametri di riferimento utilizzati per il calcolo delle deiezioni individuando in definitiva le seguenti classi di capi:

**Tabella 5** – Rielaborazione delle classi di capi in relazione al peso vivo

Categorie BDN	Peso medio (kg)	Deiezioni liquide (l / 100 kg peso v. giorno)	Deiezioni solide (kg s.s / 100 kg peso v.giorno)
Verri*	160	8	0,53
Cinghiali*	160	8	0,53
Scrofe	160	12,5	0,53
Magroncelli	50	7	0,35
Lattonzoli	15	2,5	0,73
Magroni**	100	11	0,44
Scrofette**	100	11	0,44
Grassi**	100	11	0,44

Fonte: Atlante Italiano delle Biomasse

\* Ai Cinghiali si associano i parametri che ISTAT fornisce per i Verri

\*\* A Magroni, Scrofette e Grassi si associano i parametri che ISTAT fornisce per la categoria "da ingrasso"

Analogamente, per l'elaborazione dei dati relativi al settore bovino-bufalino si è fatto uso dei parametri proposti dallo stesso studio ISTAT [6], che suggerisce le seguenti categorie:

**Tabella 6** - Parametri per il calcolo delle deiezioni zootecniche bovine.[6]

Categorie ISTAT	Peso medio (kg)	Deiezioni liquide (l / 100 kg peso v. giorno)	Deiezioni solide (kg s.s / 100 kg peso v. giorno)
0-12 mesi	200	5,3	0,66
12-24 mesi	400	6,8	0,82
24 mesi in su	650	8,2	1,05

Per il calcolo delle deiezioni prodotte dai capi bufalini il parametro discriminante non risiede nell'età media del capo, bensì dall'orientamento della produzione, ossia dal fatto che alcuni capi sono "da latte", altri "da carne" ed altri ancora sono di orientamento "misto".

I parametri relativi alla classe bufalina "da latte" sono perfettamente identici a quelli utilizzati per i bovini di età superiore ai 24 mesi, per le altre categorie di bufali sono riportati valori compresi in media tra quelli relativi a bovini di età < 12 mesi e bovini di età compresa tra i 12 e i 24 mesi.

Si è scelto, in definitiva, di attribuire ai bufali di età > 24 mesi i parametri relativi all'orientamento produttivo "da latte", mentre, per i bufali di età < 24 mesi sono stati attribuiti valori corrispondenti alle altre categorie.

**Tabella 7** - Parametri per il calcolo delle deiezioni zootecniche bufaline.

Categorie ISTAT	Peso medio (kg)	Deiezioni liquide (l / 100 kg peso v. giorno)	Deiezioni solide (kg s.s / 100 kg peso v.giorno)
0-12 mesi	300	5.6	0.74
12-24 mesi	300	5.6	0.74
24 mesi in su	650	8.2	1.05

Fonte: Rielaborazione dati ISTAT [6]

### Settore: Frazione Organica dei Rifiuti Solidi Urbani

Per quanto riguarda il settore relativo alla *Frazione Organica dei Rifiuti Solidi Urbani* (FORSU), il database relativo all'Atlante delle Biomasse<sup>7</sup> riporta la produzione in t/anno della frazione "umida" e della frazione "verde" per ciascuna provincia italiana.

Per questo settore non è stato possibile risalire ad una informazione ufficiale relativa alla localizzazione di impianti di raccolta<sup>8</sup> e lavorazione del materiale, informazione che potrebbe tornare utile ai nostri scopi nella prospettiva di realizzare impianti che recuperino energia da questa tipologia di biomasse. La fase di rielaborazione dei dati relativi alla FORSU si è concentrata quindi nel recupero del valore procapite di produzione della sola frazione umida (più propriamente utilizzata dalla tecnologia della digestione anaerobica, che è alla base del presente tema di ricerca, per la valorizzazione energetica della stessa), distinto da provincia a provincia, in virtù del sistema di raccolta differenziata adottato.

<sup>7</sup> Per maggiori approfondimenti si rimanda ai "Report RSE/2009/167 - Report RSE/2009/182" elaborati da ENEA

<sup>8</sup> Per maggiori approfondimenti si rimanda al paragrafo relativo agli "Sviluppi Futuri del software A.I.D.A."



Naturalmente la dove tale sistema eccelle, l'intercettazione della biomassa utile aumenta e quindi aumenta la disponibilità della stessa nell'ottica di un recupero energetico. Si è giunti poi alla definizione di una produzione di “umido” per ciascun comune italiano “spalmando” il valore procapite provinciale [7] di produzione mediante il numero di abitanti di ciascun comune [8]. Naturalmente c'è la consapevolezza che questa informazione debba servire a fornire un ordine di grandezza della disponibilità di tale biomassa e non si presenta come un dato puntuale. D'altra parte però si aggiunge la consapevolezza che ad oggi la politica della raccolta differenziata (o meglio la politica delle “tre R”: Riduzione, Riciclaggio, Riutilizzo) sta attraversando una fase di crescita e perfezionamento. Alla luce di queste affermazioni è lecito supporre che l'intercettazione della biomassa in questione sarà destinata ad aumentare, per cui l'informazione di cui facciamo uso potrebbe essere letta in termini conservativi senza indurre in valutazioni sovrastimate.

*Fonti di riferimento:* Fonte consultata: ISPRA – Rapporto Rifiuti 2007 [7] ( e confronto con le edizioni precedenti 2002 – 2006<sup>9</sup>).

I dati sono ricavati dal Rapporto Rifiuti e rappresentano il frutto di un complesso lavoro di acquisizione, elaborazione e validazione, effettuato dall' APAT, attraverso la predisposizione e l'invio di appositi questionari ai soggetti pubblici e privati che, a vario titolo, detengono informazioni relative al settore.

Decisiva, in tal senso, è la collaborazione che da anni si è instaurata tra l'APAT e le Agenzie regionali e provinciali per la protezione dell'ambiente, le Regioni, le Province, gli Osservatori provinciali sui Rifiuti, i Commissari per le emergenze rifiuti, il sistema CONAI, i consorzi di filiera e le associazioni di categoria.

### **Settore: Fanghi prodotti da impianti di depurazione delle acque reflue urbane**

Per quanto riguarda il settore relativo ai “*Fanghi Biologici*” prodotti dagli impianti di depurazione delle acque reflue urbane si è preferito abbandonare i dati elaborati dall'Atlante delle Biomasse poiché ritenuti ormai obsoleti, in quanto riferiti ad un censimento ISTAT elaborato nel 1999. Ad oggi però l'ISTAT dispone di un nuovo censimento aggiornato all'anno 2009 [9] che fornisce informazioni relative alla localizzazione territoriale dell'impianto (Regione, Provincia, Comune), l'identificativo dello stesso mediante un codice depuratore, la denominazione dell'impianto, la specifica

<sup>9</sup> Informazioni acquisite in fase di elaborazione dell'Atlante italiano delle Biomasse

sulla tipologia di trattamento (Primario, Secondario, Terziario), lo stato dell'impianto (se risulta cioè in esercizio, non in esercizio, o in costruzione) e infine fornisce l'informazione relativa alla classe dimensionale dell'impianto, ossia il numero degli abitanti equivalenti serviti (AES). Quest'ultimo è il parametro di riferimento per le elaborazioni che seguiranno, relative alla stima della produzione di fango biologico utile al processo di trasformazione mediante la tecnica di digestione anaerobica.

A rigore il censimento degli impianti di depurazione delle acque reflue urbane è ottenuto mediante lo studio di un questionario inviato ai singoli gestori in cui è fatta richiesta anche di informazioni puntuali sulla produzione quali-quantitativa di fango biologico di ciascun impianto, ma questa purtroppo rimane un'informazione legata ad incertezze conoscitive; per tale motivo non è resa nota.

Fonti di riferimento: ISTAT - Sistema delle Indagini sulle Acque (SIA)– anno 2009<sup>10</sup> [9]

I micro dati forniti dall'ISTAT sono relativi agli Impianti di depurazione delle acque reflue urbane rilevati dal Sistema delle Indagini sulle Acque, relative al 2008.

### Altri settori

Le categorie citate finora rappresentano solo una parte delle varie tipologie di biomassa prese in esame. Come già accennato il servizio web elaborato nell'ambito del tema in questione è in grado di individuare soluzioni impiantistiche per la valorizzazione energetica di una più vasta gamma di tipologie di biomasse. Si aggiungono alle categorie sopra descritte, le biomasse residuali agricole e forestali, la sostanza organica derivante dagli scarti di macellazione e/o scarti agroindustriali e le colture energetiche erbacee.<sup>11</sup> Di questi settori l'A.I.D.A. non riporta ad oggi l'informazione relativa alla produzione diffusa sul territorio nazionale. La scelta di trascurare tali informazioni è stata dettata dal livello di indagine proposto da A.I.D.A., ossia il dettaglio comunale. Le elaborazioni effettuate per la stesura dell'Atlante Italiano delle Biomasse non prevedono l'indagine su scala comunale, bensì provinciale, per cui in attesa di una rielaborazione dei suddetti si è preferito non inserire nel database la produzione-distribuzione delle biomasse sul territorio italiano.

D'altra parte l'A.I.D.A. consente comunque lo studio della valorizzazione energetica delle suddette matrici, rinunciando per ora alla contestualizzazione territoriale.

<sup>10</sup> Si tratta di informazioni acquisite da un nuovo censimento ISTAT. Non appartengono ad elaborazioni dell'Atlante italiano delle Biomasse.

<sup>11</sup> Per maggiori approfondimenti si rimanda al paragrafo relativo agli "Sviluppi Futuri del Software A.I.D.A."

## DESCRIZIONE DELLA PIATTAFORMA WEB A.I.D.A.

Gli scenari per lo sviluppo di una catena “Waste-to-Energy” possono essere molteplici e ognuno può portare a risultati economici differenti e a conseguenze sull’assetto organizzativo dell’azienda (e non solo), oltre che a ripercussioni sul territorio circostante. La possibilità di analizzare i diversi scenari basati sulle proprie disponibilità di biomasse (sia il soggetto un agricoltore, un imprenditore, o su una scala più ampia la Pubblicazione amministrazione) considerando il proprio contesto aziendale con modalità indipendenti, rappresenta un elemento di forza per le imprese agricole e i tecnici che intendono affrontare la realizzazione di impianti di digestione anaerobica.

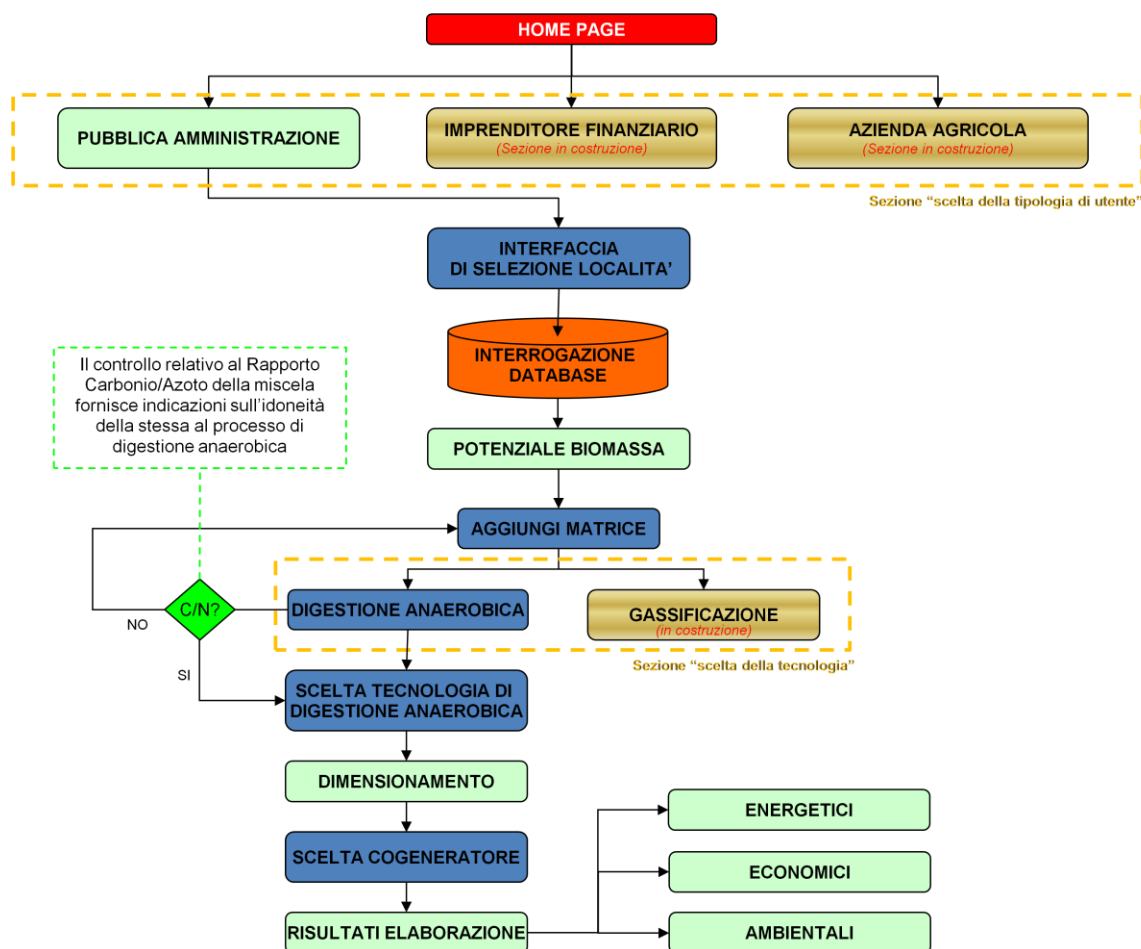
I soggetti interessanti ad un investimento del genere sono molteplici:

- la Pubblica Amministrazione, che abbia interesse a definire la disponibilità di biomassa di un territorio più o meno vasto che si estende dal singolo comune, a consorzi di più comuni fino al potenziale di un intera provincia o regione e sulla scorta di queste informazioni, elaborare i risultati in termini economici ed energetici;
- l'imprenditore finanziario che abbia interesse ad investire in un campo che possa essere redditizio da un punto di vista economico e non solo;
- l'azienda agricola che abbia interesse a trasformare i propri rifiuti in una risorsa, così da poter gestire i reflui, trarne un profitto economico e nel frattempo risparmiare per lo smaltimento dei reflui stessi.

Vista l’attenzione crescente a questa tematica, l’ENEA, in collaborazione con l’università di Napoli, ha realizzato un servizio di supporto all’assistenza tecnica per gli operatori del sistema produttivo agricoltura e agroindustria che permette di analizzare diversi scenari aziendali e, per mezzo dell’analisi economica classica, di arrivare ad un giudizio di prefattibilità sulla realizzazione di un impianto di digestione anaerobica.

Tale supporto consiste nell’implementazione di una Piattaforma web la cui configurazione può essere rappresentata mediante il seguente schema a blocchi:

Figura 10 – Schema a blocchi rappresentativo della struttura del sistema:



Oltre ad essere strumento di calcolo guidato, il modello è fornito anche di un serie di archivi di dati relativi a:

- mappatura delle biomasse relative al settore zootecnico, al settore dei rifiuti organici proveniente dalla raccolta differenziata e al settore relativo alla produzione dei fanghi dagli impianti di depurazione delle acque reflue urbane; il tutto con dettaglio comunale ricoprendo l'intero territorio nazionale;
- caratteristiche qualitative delle diverse biomasse fermentescibili e lignocellulosiche;
- modelli delle diverse tipologie di motori: MCI, TAG, MCFC, SOFC con relativi rendimenti tecnologici;
- voci di costo delle varie opere civili ed elettromeccaniche;
- altri parametri utili per le elaborazioni energetiche ed economiche.

In tal modo, anche l'utente non specializzato in costruzione di impianti può quindi essere guidato per orientarsi in tutti i campi nei quali potrebbe avere difficoltà a reperire informazioni.

Questi archivi sono inoltre facilmente integrabili, previa l'implementazione di un format che consente di automatizzare l'operazione da parte dell'amministratore del sistema.

Parte di questo lavoro è stato già implementato (vedi "Area Amministratore"), ma è necessario arricchirla con format specifici differenti in funzione delle esigenze che si presentano.

Come si nota dallo schema a blocchi riportato in Figura 10 alcune sezioni di studio, sono ad oggi, ancora in fase di elaborazione e necessitano di ulteriori approfondimenti. Allo scopo di fornire un'indicazione di come è stato strutturato il Modello di Calcolo A.I.D.A., si propone nel seguito una breve descrizione dei vari stadi di elaborazione che si susseguono a cascata<sup>12</sup>

- Passo 0: Scelta della tipologia di utente
- Passo 1: Disponibilità delle biomasse
- Passo 2: Tecnologia di digestione anaerobica
- Passo 3: Produzione di Biogas
- Passo 4: Analisi Energetica
- Passo 5: Aspetti economici
- Passo 6: Aspetti ambientali

### **Passaggio 0: Scelta della tipologia di utente**

L'Home page del sito presenta una breve descrizione sugli obiettivi del sistema e il richiamo alla fonte principale che ha fornito il supporto base per l'elaborazione del modello. ([www.atlantebiomasse.enea.it](http://www.atlantebiomasse.enea.it)).

---

<sup>12</sup> Si rimanda l'approfondimento sulla costruzione della struttura del Servizio Web AIDA all'allegato "Documentazione tecnica - Linguaggi di programmazione. Autore: Lelig company"



L'opzione relativa alla "RICERCA DATI" fornisce informazioni relative agli archivi<sup>13</sup> di cui dispone il Servizio AIDA:



Si è pensato inoltre di dotare il sito di una serie di documenti (scaricabili con un semplice clic, in formato pdf) che approfondiscono le diverse tematiche in gioco (vedi colonna sulla destra): informazioni sulla tecnologia di digestione anaerobica, sulle tecniche per migliorare le rese in termini di produzione di biogas, sui vantaggi della codigestione, sul sistema di incentivazione dell'energia prodotta da fonti rinnovabili, e pubblicazioni varie della stessa azienda ENEA sugli argomenti a tema trattati nel corso degli ultimi anni. È previsto un aggiornamento di questa sezione gestito sempre dall'amministratore del sistema.

La sezione relativa alla selezione della *Tipologia Utente* consente di effettuare una scelta che serve a guidare l'indagine a seconda dell'interesse dell'utente.

<sup>13</sup> I contenuti degli archivi sono riportati in forma tabellare nell'allegato tecnico a valle del presente documento.



L'A.I.D.A. nasce per rispondere a diverse esigenze o meglio per dare un valido contributo a sostegno delle decisioni nell'ambito pubblico o privato. A tale scopo sono proposte tre possibili utenze; la Pubblica Amministrazione, l'Imprenditore Finanziario e l'Azienda Agricola, con l'obiettivo comune di realizzare impianti per la valorizzazione energetica delle biomasse ma spinti da interessi differenti, che si concretizzano in percorsi decisionali contraddistinti:

- Per la Pubblica Amministrazione lo scopo principale è realizzare un impianto che trasformi i rifiuti in una risorsa, ossia le biomasse in energia, e che rappresenti nel contempo un'opera di pubblica utilità, un bene comune in grado di offrire risvolti sull'economia locale, offrendo nuove opportunità di sviluppo per le aree urbane ed extraurbane, essendo spesso le aziende zootecniche ricadenti in aree svantaggiate. L'intervento consente inoltre di superare il forte impatto ambientale rappresentato dalla diffusione degli odori dovuta allo spandimento dei liquami in maniera incontrollata.
- 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 questa tipologia di utenza (*sezione in costruzione*) si prevede, come sviluppo futuro del modello, un approccio differente, che parte dalla scelta della taglia di impianto e grazie all'implementazione della fase di "ricerca avanzata", sarà possibile individuare i quantitativi di biomasse necessari a sviluppare tale potenza. In questo modo l'utente, o meglio l'imprenditore finanziario, ha la possibilità di scegliere, in funzione delle analisi elaborate, che tipologia di biomassa trattare; quella naturalmente che consenta un ricavo maggiore in relazione ai costi di conferimento, trasporto, ed altri fattori.

- L'Azienda agricola cerca una soluzione adeguata in grado di trattare i liquami zootecnici e gli scarti agricoli che rappresentano per l'azienda un costo fisso di smaltimento nonché un problema per il reperimento di terreni per lo spandimento di tali reflui in ottemperanza ai limiti di legge sul massimo carico di azoto spandibile. Realizzare un impianto che converte la biomassa in energia potrebbe significare un'utile integrazione al reddito data dalla vendita dell'energia ammortizzando così le spese necessarie alla conduzione dell'attività.

Allo stato attuale in tale sessione l'A.I.D.A. presenta una *pagina in costruzione* dove in futuro sarà predisposto un format di registrazione al sito in cui gli allevatori depositeranno i dati relativi alla propria consistenza zootecnica, le spese di gestione e manutenzione dell'azienda, ma soprattutto i propri consumi elettrici e termici che saranno alla base dello studio di fattibilità dell'impianto da realizzare. Sarà previsto inoltre un sistema che consenta, da parte dell'amministratore, di validare queste informazioni che serviranno ad arricchire così la banca dati di cui dispone il modello di calcolo. L'utente che farà la scelta di registrare le proprie credenziali avrà diritto ad una corsia preferenziale di indagine e delle agevolazioni inerenti informazioni di carattere economico.

### Passaggio 1: Disponibilità delle biomasse

Il primo passo elaborato consente alla Pubblica Amministrazione di localizzare il sito di interesse, ovvero la regione, la provincia, e il comune di cui si desidera conoscere la potenzialità in termini di biomassa.



The screenshot shows the A.I.D.A. website interface. At the top, there is a navigation bar with 'HOME' and 'RICERCA DATI'. Below this is a banner with the ENEA logo and the text 'A.I.D.A. ANALISI IMPIANTI DIGESTIONE ANAEROBICA'. The main content area is titled 'Selezione località' and contains a form for selecting a location. The form includes three dropdown menus for 'CAMPANIA', 'BENEVENTO (BN)', and 'CASTELPAGANO'. There are also checkboxes for 'Escludi aziende inattive' and 'Escludi aziende senza risorse'. A 'Mostra dati' button is visible. On the right side, there is a 'DOCUMENTI' section with links for 'Digestione anaerobica' and 'Stabulazione'.

Successivamente, mediante un'interrogazione del database ("Mostra dati") di cui dispone il sistema, si ha la possibilità di visualizzare l'intero patrimonio di biomasse disponibili (relativamente al settore dei reflui zootecnici, della FORSU e dei fanghi prodotti dagli impianti di depurazione delle acque reflue urbane.) fornendo una visione d'insieme utile




per qualsiasi tipo di investimento. Il vantaggio di disporre di una banca dati come quella dell'*Atlante italiano delle Biomasse* consente di contestualizzare le risorse disponibili sul territorio, aspetto questo fondamentale quando le risorse a cui si fa riferimento sono proprio le biomasse. In particolare il settore zootecnico e il settore dei fanghi prodotti dagli impianti di depurazione delle acque reflue urbane, dispongono di informazioni a carattere aziendale, mentre il settore della frazione organica dei rifiuti (FORSU) fa riferimento ad un dato su scala comunale.

Si ricorda inoltre che il modello è in grado di eseguire elaborazioni anche su matrici differenti rispetto a quelle fornite dal database (quali gli scarti agroindustriali, colture energetiche, residui colturali); offre la possibilità di inserire la quantità di biomassa da trasformare ed elaborare in automatico le valutazioni economiche-energetiche che seguono.

Rientra nelle prospettive future arricchire le informazioni del database relativo alle biomasse disponibili sul territorio italiano così da contestualizzare l'intero settore. Ad oggi tale aspetto è stato accantonato in attesa di una rielaborazione dei dati dell'*Atlante Italiano delle Biomasse*, i quali sono forniti con dettaglio provinciale, mentre L'A.I.D.A. è stato strutturato per elaborare su una scala di dettaglio più ristretta, ovvero su scala comunale.

L'elaborazione consente inoltre di scorporre, mediante una semplice deselezione, le *aziende inattive* e le *aziende prive di risorse*. Si è preferito tutelare tale informazione allo scopo di conservare integro il database di origine [4], fermo restando che non si esclude che le aziende ad oggi inattive o prive di risorse possano un domani ripristinare la propria attività.

In particolare il pulsante  consente di visualizzare l'elenco delle aziende zootecniche che risiedono nel comune di indagine con il proprio patrimonio zootecnico (classificato in base alla tipologia di capi presenti in azienda, vedi Figura 11) e la disponibilità della FORSU (espressa come tonnellate all'anno – l'anno di riferimento delle rilevazioni dei dati è riportato nelle fonti) prodotta dallo stesso.

Si noti, sulla estrema destra in alto, l'opzione "oscurata" relativa alla funzione "*Ricerca avanzata*" (al di sopra del tasto "mostra dati"); ad oggi tale funzione non risulta ancora attiva ma si ritiene utile ugualmente descrivere la potenzialità futura. In questa sessione è prevista l'interrogazione del database in relazione a tagli aziendali appropriati, offrendo così l'opportunità di elaborare i dati relativamente ad aziende di una determinata classe

dimensionale di interesse. Tale opportunità consente di ottimizzare la convenienza economica di un investimento in tale settore.

**Figura 11** – Patrimonio zootecnico del comune selezionato

Prego selezionare una località:

CAMPANIA BENEVENTO (BN) CASTELPAGANO

Escludi aziende inattive  Escludi aziende senza risorse

Ritorna alla mappa Ricerca Avanzata **Mostra dati**

Comune di CASTELPAGANO - Provincia di BENEVENTO (BN) - CAMPANIA

Produzione della Frazione organica dei rifiuti solidi urbani = 10,987 t/anno

*Il sistema elabora l'intero potenziale zootecnico del comune oggetto di studio; è possibile limitare l'indagine solo ad alcune aziende di particolare interesse, ricalcolando il potenziale a valle della selezione*

Vai ai totali (a fondo pagina) **Legenda**

<input checked="" type="checkbox"/>	Cod. Az.	Indirizzo	Data Rif.	BO1	BO2	BO3	BU1	BU2	BU3	SC1	SC2	GR	VE	LA	CI	M1	M2
<input checked="" type="checkbox"/>	017BN002	CDA PELAGALLI	31/12/2006	1	3	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	017BN005	CDA INSORTI D'UNGHERIA	31/12/2006	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	017BN007	CDA GERJANI	31/12/2006	3	1	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	017BN008	CDA PIANO S.ANGELO	31/12/2006	11	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	017BN009	CDA COSTAMAROTTA	31/12/2006	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	017BN010	CDA PEPPEBURDI	31/12/2006	3	2	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	017BN011	CDA PEPPU - BURDI	31/12/2006	5	10	18	0	0	0	2	0	0	0	6	0	0	0

**Manuale biogas del CRPA.**(Vai...)  
**Fattori che rendono ottimale la razione per il codigestore.**(Vai...)  
**Stabulazione**  
 ● Rapporto Gestione-Resa utile per la stabulazione.(Vai...)  
**Codigestione**  
 ● Articolo: "Buone prospettive per l'impiego del biogas prodotto da residui agrozootecnici".(Vai...)  
 ● Rese codigestione.(Vai...)  
**Incentivazione del biogas**  
 ● Certificati verdi.(Vai...)  
 ● Tariffa onnicomprensiva.(Vai...)

PUBBLICAZIONI

**Pubblicazioni ENEA-Biomasse**

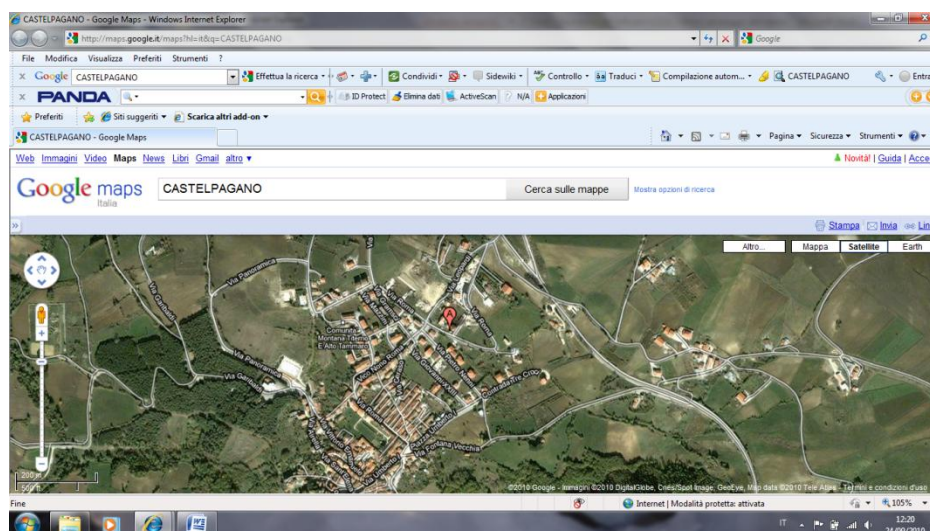
C'è inoltre la possibilità di limitare l'indagine solo ad alcune delle aziende presenti nel comune, o anche ad un'unica azienda in particolare. Tale operazione è possibile mediante una semplice deselezione e ricalcolando la consistenza aziendale mediante il pulsante "Ricalcola valori" in fondo alla pagina:

<input checked="" type="checkbox"/>	017BN245	CDA COLLI	31/12/2006	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	017BN249	PIANA S. ANGELO	31/12/2006	4	4	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	017BN250	LOC. MASTRANGELO	31/12/2006	7	2	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	017BN251	VIA G. LEOPARDI	31/12/2006	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<b>Cod. Az.</b>	<b>Indirizzo</b>	<b>Data Rif.</b>	<b>BO1</b>	<b>BO2</b>	<b>BO3</b>	<b>BU1</b>	<b>BU2</b>	<b>BU3</b>	<b>SC1</b>	<b>SC2</b>	<b>GR</b>	<b>VE</b>	<b>LA</b>	<b>CI</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>
	<b>Num. Az.</b>	<b>155</b>	<b>TOTALI</b>	<b>800</b>	<b>432</b>	<b>1261</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

**Ricalcola valori**

**Procedi con l'elaborazione dei dati**

Cliccando sul nome del comune riportato in alto alla tabella c'è la possibilità di visualizzare una mappa attraverso il sistema di "Google maps" che individua la posizione del comune oggetto di indagine.



Questo è un ulteriore aspetto che apre la prospettiva ad un'indagine più ampia, ossia la possibilità di individuare rapidamente comuni adiacenti in cui verificare la consistenza zootecnica nell'ottica di realizzare dei consorzi anche tra aziende appartenenti a comuni diversi ma situati nelle prossimità del sito di interesse.

C'è inoltre la possibilità:

- di consultare una finestra informativa (“*Legenda*”), rappresentata da una tabella che esplicita le classi di capi appartenenti alle aziende zootecniche bovine, bufaline e suine (vedi al lato);
- di selezionare un'azienda qualsiasi per visualizzare le informazioni relative a “*Dettagli Azienda*” (vedi al lato).
- di selezionare “*Ritorna alla mappa*” che consente di ritornare all'opzione di scelta della località;

**Legenda tabella aziende**

BOVINI		SUINI	
Sigla	Elemento produttivo	Sigla	Elemento produttivo
BO1	Bovino 0-12 mesi	SC1	Scrofa
BO2	Bovino 12-24 mesi	SC2	Scrofetta
BO3	Bovino oltre 24 mesi	M1	Magroncello
BU1	Bufalino 0-12 mesi	M2	Magrone
BU2	Bufalino 12-24 mesi	CI	Cinghiale
BU3	Bufalino oltre 24 mesi	GR	Grasso
		LA	Lattonzolo
		VE	Verro

**Dettagli azienda**

Codice Identificativo AIDA	38333
Codice Azienda	017BN218
Comune	CASTELPAGANO
Indirizzo	C. DA RATTINI
ASL di competenza	R103 - A.S.L. BENEVENTO
Data di riferimento per i dati immessi	31/12/2006
Data di inizio attività	14/03/1992
Azienda ancora in attività	SI
Tipo azienda	ALLEVAMENTO
Modalità azienda	
Stato impianto*	
Abitanti equivalenti serviti*	

\*solo per impianti di trattamento acque reflue

Continuando l'elaborazione, mediante il pulsante “*Procedi con l'elaborazione dei dati*”, si apre la pagina successiva che consente di visualizzare una tabella riepilogativa relativa alla consistenza dell'ipotetico impianto, in termini di potenziale delle deiezioni zootecniche e della FORSU (quest'ultima può, in base alle esigenze, essere esclusa dal calcolo mediante il comando “*Elimina*”) e fornisce inoltre la possibilità di inserire ulteriori substrati qualora questi siano disponibili (o presso le aziende stesse, o comunque da acquistare).

Figura 12 – Sezione aggiungi matrice

**Passaggio 1 - Disponibilità biomasse**

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	37596,961 <b>(Dettagli)</b>	
CIVILE	FORSU	10,987	<input type="button" value="Elimina"/>
<b>TOTALI</b>		<b>37596,961</b>	

Mediante il comando “Dettagli” il sistema consente di visualizzare la consistenza delle aziende zootecniche ossia il numero di capi bovini-bufalini e suini disponibili suddivisi per classi e la produzione delle deiezioni liquide e solide per classi di capi:

**Dettagli matrice zootecnica**

Animale	N° Capi	Deiez. Solide (t/anno)	Deiez. Liquide (t/anno)
Bovino 0-12 mesi	800	384	3250,8
Bovino 12-24 mesi	432	518,4	4504,248
Bovino oltre 24 mesi	1261	3139,89	25752,773
Bufalino 0-12 mesi	3	2,43	19,31
Bufalino 12-24 mesi	0	0	0
Bufalino oltre 24 mesi	0	0	0
Scrofa	3	0,93	22,995
Scrofetta	0	0	0
Magroncello	0	0	0
Magrone	0	0	0
Cinghiale	0	0	0
Grasso	0	0	0
Lattonzolo	6	0,24	0,945
Verro	0	0	0
<b>TOTALE</b>	<b>2505</b>	<b>4045,89</b>	<b>33551,071</b>

### Passaggio 2: Scelta della tecnologia di digestione anaerobica

In questa fase vengono elaborati i parametri caratteristici relativi alla miscela codigerita; per definire tali parametri il sistema opera una media pesata in relazione alle masse di ciascun singolo substrato e sulla base di questi, il sistema procederà con il calcolo della produzione di biogas.

**Passaggio 2 - Scelta della tecnologia di dig. anaerobica**

Parametri Miscela		
% Solidi Totali	0,095	%
% Solidi Volatili	0,762	%
Rapporto Carbonio-Azoto	25,502	
Densità	1,006	t/m <sup>3</sup>

Questi parametri sono utili per definire la tipologia di processo con cui trasformare la miscela in esame.

Dapprima il sistema esegue un controllo sul contenuto del rapporto Carbonio/Azoto il cui valore deve rientrare entro un range ammissibile che renda possibile la trasformazione mediante il processo di digestione anaerobica.

Tale range prevede come valori limite:  $C/N_{\min} = 20$ ;  $C/N_{\max} = 35$ .

Qualora il controllo vada a buon fine, ossia il contenuto Carbonio/Azoto della miscela rientra nei limiti ammissibili, il programma prosegue con le elaborazioni successive; se invece ciò non accade il sistema trasmette a video un “warning”, invitando l’utente ad una correzione di tale valore mediante l’aggiunta di specifiche matrici il cui contenuto C/N possa bilanciare il valore C/N della miscela in esame.

L’aggiunta di un’ulteriore matrice avviene scegliendo la tipologia di substrato dal menù a tendina “*Aggiungi matrice*” (Figura 12) e inserendo (con tentativi a cascata) la quantità opportuna per far quadrare il bilancio C/N:

Si prevede, come sviluppo futuro, la possibilità che il sistemi operi in automatico un bilancio di massa in base al contenuto ideale di C/N della miscela, fornendo direttamente la quantità di biomassa necessaria (una volta scelta la tipologia di matrice che s’intende codigerire) che renda possibile la trasformazione suddetta.

Il secondo controllo eseguito dal sistema è inerente al contenuto dei solidi totali della miscela:

- Se  $\%ST < 10\%$  → il sistema consiglia un *trattamento UMIDO (WET)*, essendo la miscela sufficientemente diluita;
- Se  $10\% < \% ST < 20\%$  → il sistema consiglia un *trattamento SEMISECCO (SEMYDRY)*.
- Se  $\%ST > 20\%$  → il sistema consiglia un *trattamento SECCO (DRY)*.

La stessa sessione invita inoltre l’utente ad operare alcune scelte per definire il dimensionamento del digestore in virtù della tipologia di processo che si desidera adottare e della temperatura:

- MESOFILIA = 35°C
- TERMOFILIA = 55°C

A questo punto segue la fase del dimensionamento del volume del digestore.

In base alle scelte appena effettuate sulla tipologia di trattamento e sulla temperatura di processo si individuano i valori medi ammissibili del carico organico (OLR, Organic Loading Rate) e del tempo di ritenzione (HRT, hydraulic retention time). È possibile individuare tali valori limite mediante il pulsante “calcola”. In particolare il sistema elabora un intervallo di valori per entrambi i parametri, e lascia all’utente la possibilità di individuare i valori ottimali favoriti dalle condizioni di processo imposte.

Il substrato selezionato per la digestione ha un contenuto di sostanza secca pari al 9,5% per cui si consiglia la tecnica di digestione **UMIDA**

Scelta temperatura di processo **MESOFILIA**

*Il dimensionamento del volume del digestore si effettua in base agli intervalli utili di carico organico (OLR) e di tempo di ritenzione idraulica (HRT), definiti in funzione delle scelte appena effettuate inerenti la tipologia di trattamento e la temperatura di processo.*

*Il Volume Utile sarà dato dal giusto compromesso di tali parametri; a tale scopo l'utente può agire sui cursori relativi agli intervalli di OLR [kgSV/m<sup>3</sup>giorno] e di HRT [giorni] facendo variare i due parametri fino a che il Volume di Progetto raggiunga il Volume di Verifica.*

*Per definire il Volume Reale occorre incrementare il Volume Utile mediante un coefficiente di sicurezza rappresentativo della flessibilità desiderata per l'impianto.*

**calcola**

OLR min **2**      OLR **2.9**      **4** OLR max

HRT min **25**      HRT **25.3**      **30** HRT max

**Calcola**

**2571.23** Volume di progetto (m<sup>3</sup>)      **2590.49** Volume utile (m<sup>3</sup>)

**2590.49** Volume di verifica (m<sup>3</sup>)      **3368** Volume reale (m<sup>3</sup>)

Tale scelta si concretizza posizionando il cursore (come in figura sopra) relativo al parametro del carico organico volumetrico OLR e del parametro HRT nella posizione ottimale tale da raggiungere il valore: Volume di Progetto = Volume di Verifica

Sono state impostate alla base le due formule utili a tale procedimento: la formula di progetto e la formula di verifica.

Formula di Progetto:  $\text{Volume di Progetto} = \frac{\frac{\text{kgSV}}{\text{g}}}{\text{OLR}}$

Formula di Verifica:  $\text{Volume di Verifica} = \text{HRT} \times \frac{\text{m}^3}{\text{g}}$

Nell'esempio riportato in figura le condizioni ottimali sono:

- OLR = 2,9 kg SV/m<sup>3</sup>·giorno
- HRT = 25,3 giorni

Per determinare il Volume Reale bisogna considerare un coefficiente di sicurezza rappresentativo della flessibilità desiderata per l'impianto, generalmente compreso tra 1,2 – 1,3.

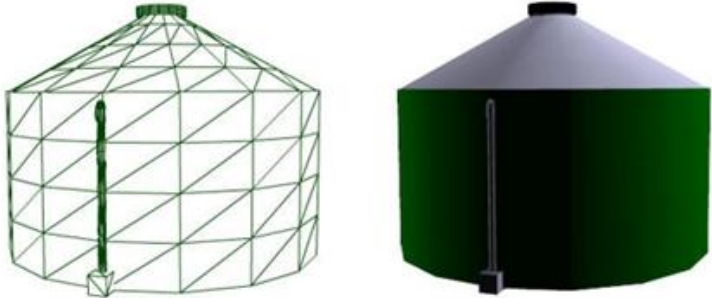
Il sistema procede con la scelta della tipologia di digestore, suggerendo la tecnologia del digestore in funzione della tipologia di trattamento:

- nel caso di un trattamento a secco consiglia un *PLUG-FLOW*;
- mentre per un trattamento ad umido si preferisce una tecnologia *CSTR*.

Tale scelta avviene sulla scorta di un controllo sul contenuto dei solidi totali.

Nell'esempio riportato, in base alla scelta del trattamento ad umido, il sistema consiglia un digestore della tipologia CSTR (Continuous Stirred-Tank Reactor, in italiano "reattore a serbatoio agitato in continuo"); di seguito è possibile visualizzare lo schema di un volume tipo:

Scelta tipologia di digestore **CSTR**



Scelta tipologia di processo **MONOSTADIO**

**Dimensionamento del digestore**

*E' possibile ottimizzare la configurazione geometrica del digestore secondo le esigenze dimensionali.*

**CSTR**  
altezza  m e diametro  m ➡ volume  m3

**PlugFlow**  
altezza  m  
larghezza  m ➡ volume  m3  
lunghezza  m

E' necessario partizionare la biomassa in 2 digestori il cui volume unitario è 1684

Un'ulteriore scelta riguarda la tipologia di processo:

- MONOSTADIO
- BISTADIO

Al momento il sistema non consente la suddetta doppia opzione. È noto che la tecnologia bistadio<sup>14</sup> consente di incrementare notevolmente le rese in termini di produzione di biogas, poiché migliora la gestione dei processi biologici; ma l'utilizzo di tale tecnologia presenta anche delle ripercussioni in termini di costi di investimento. Ad oggi tale aspetto non è stato ancora preso in considerazione.

Le dimensioni volumetriche del digestore sono scelte tenendo conto dei limiti dimensionali ammissibili relativi all'altezza e al diametro, prevedendo inoltre una partizione (in automatico) del volume della biomassa in più digestori, qualora le quantità in

<sup>14</sup> Secondo la fonte MT-Energie tale miglioramento consiste in una resa superiore del 20% rispetto al caso monostadio, a parità di altre condizioni.



gioco siano consistenti. Il tutto si concretizza mediante il pulsante “Dimensionamento del digestore”.

La scelta di partizionare la biomassa in più digestori di egual volume è dettata non solo da limiti dimensionali e ma anche da esigenze tecniche (in sede di manutenzione, ad esempio).


### Passaggio 3: Produzione di Biogas

Conclusa la fase del dimensionamento del digestore, il sistema elabora la produzione di biogas ottenuto dalla miscela codigerita come somma dei tutti i contributi delle singole matrici. A rigore tale procedimento induce ad un errore concettuale, dal momento che, il processo di codigestione consente di ottenere delle rese in biogas differenti dalla semplice somma algebrica dei contributi dei singoli substrati. Questo ci consente di leggere tali risultati in termini conservativi<sup>15</sup>.

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

**Passaggio 3 - Produzione di biogas**

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



Consistenza Impianto	37596,961	t/anno
% Solidi Totali	0,095	%
% Solidi Volatili	0,762	%
Contenuto Energia da Metano	0,517	MW <sub>t</sub>
% CH <sub>4</sub>	0,641	%
Produzione Biogas	638434,789	Nm <sup>3</sup> /anno

### Passaggio 4: Analisi Energetica

Questa sessione è dedicata alla scelta del sistema di cogenerazione. Come già anticipato il sistema dispone anche di un archivio [10] che contiene una serie di motori relativi alle seguenti tipologie:

- Motori a combustione interna (MCI);
- Turbine a gas (TAG);

<sup>15</sup> Tale nota è riportata anche sul sito ed è visibile cliccando sul punto interrogativo come mostra la figura relativa al Passaggio 3.

- Celle a combustibile a carbonato fusi (MCFC);
- Celle a combustibile ad ossidi solidi (SOFC).

Per ciascuno di essi sono disponibili alcuni modelli di diversa taglia e sono riportate le seguenti caratteristiche;

CARATTERISTICHE	
Tipo	
Marca	.....
Modello	.....
Potenza elettrica	.....
Rendimento elettrico	.....
Potenza termica	.....
Rendimento termico	.....
Rendimento di cogenerazione	.....

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 [14].

La scelta del cogeneratore 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.

Il sistema suggerisce di effettuare una scelta sulla taglia del singolo modulo in funzione della potenza installabile, al fine di ottimizzare il funzionamento del sistema.

### Passaggio 4 - Analisi energetica

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

*Il sistema suggerisce di effettuare una scelta sulla taglia del singolo modulo in funzione della potenza installabile (163,24 KW) al fine di ottimizzare il funzionamento del sistema*

*Nella pratica professionale si è soliti prediligere componenti di uguale taglia che rendono l'impianto modulare; a tale scopo l'utente dovrà valutare il numero di moduli necessario in virtù della taglia scelta e della potenza installabile, riportando il corrispondente risultato nel rigo sottostante*

Numero impianti  tipo  Selezione cogeneratore...

Numero	Modello	Tipo	Potenza cad.	Potenza installata
1	CPL mod.	MCI	172	172

In base alla taglia scelta, l'utente decide di installare un certo numero di moduli necessari a garantire la potenza disponibile. Nell'esempio riportato in figura l'utente ha scelto di adattare un motore della potenza di 172 kW, pur avendo a disposizione una potenza installabile inferiore, pari a 163,24 kW.

Tale scelta comporta talora un funzionamento del motore con un regime di carico differente. Al momento il sistema non prevede alcuna conseguenza in relazione al differente regime di carico del motore, pur consapevoli delle ripercussioni di tale aspetto in termini di efficienza del motore e di surplus di biogas da bruciare in torcia<sup>16</sup>.

Dopo aver effettuato la scelta opportuna, è possibile calcolare i parametri relativi all'analisi energetica:

<b>Potenza installata</b>	172,00	kW
<b>Produzione energia elettrica</b>	2.045.137,10	kWh
<b>Autoconsumo elettrico</b>	102.256,86	kWh
<b>Surplus elettrico</b>	1.942.880,25	kWh
<b>Produzione energia termica</b>	2.726.849,47	kWh <sub>t</sub>
<b>Autoconsumo termico</b>	1.425.968,03	kWh <sub>t</sub>
<b>Surplus termico</b>	1.300.881,44	kWh <sub>t</sub>
<b>UtENZE elettriche servite</b> (Pot. = 3 KW cad.)	62,84	
<b>UtENZE termiche servite</b> (Sup. = 90 m <sup>2</sup> cad.)	96,36	

Procedi con l'analisi economica

Naturalmente sono state necessarie alcune ipotesi semplificative che permettessero di fare le valutazioni proposte; le ipotesi che seguono sono stime tratte da studi di settore:

- il consumo medio di energia elettrica di un impianto di digestione anaerobica è pari al 5% della produzione dell'EE;
- il consumo di energia termica di un impianto di digestione anaerobica si valuta in base alla formula:

<sup>16</sup> Per maggiori approfondimenti si rimanda al paragrafo degli sviluppi futuri.

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

m: massa di fluido coinvolta  
 $C_p$ : calore specifico del fluido a volume costante  
 $\Delta T$ : differenza di temperatura

- il fabbisogno elettrico medio per un'abitazione è 3 kWh<sub>el</sub> [12]
- i consumi termici per un edificio di civile abitazione (comune tipologia) è 150 kWh<sub>t</sub>/m<sup>2</sup>[12].

### Passaggio 5: Aspetti Economici

La ricerca di soluzioni per un recupero energetico ed eco-compatibile delle biomasse esige, in un contesto decisionale di investimento, un'attenta analisi dei costi degli impianti confrontando diverse soluzioni impiantistiche, in assetto cogenerativo.

I costi sono relativi all'investimento iniziale, alla manutenzione ed all'esercizio; inoltre occorre considerare i benefici ricavati dalla vendita dell'energia elettrica (con gli eventuali incentivi statali) immessa in rete, ed eventualmente anche dell'energia termica cedute ad utenze limitrofe.

I costi di investimento di un impianto di biogas, risultano molto variabili perché correlati alle specifiche esigenze di installazione (impianti di tipo semplificato, impianti completamente miscelati, coibentati e riscaldati, ecc.) e ai materiali avviati a digestione (solo liquami zootecnici, liquami zootecnici + colture energetiche o scarti agroindustriali, ecc.).

L'analisi di fattibilità di un impianto di digestione anaerobica per un'azienda agricola/zootecnica deve essere condotta approfondendo in prima istanza le disponibilità aziendali di biomasse (effluenti zootecnici, scarti colturali e agroindustriali, colture energetiche), la relativa compatibilità con il processo di digestione e le eventuali problematiche legate alla scelta dei substrati. L'analisi, inoltre, deve considerare l'inserimento dell'impianto nello specifico contesto aziendale e gli eventuali vincoli normativi e ambientali presenti.

L'**analisi finanziaria** dell'impianto prende in considerazione i seguenti flussi di cassa:  
Le voci di Costo Fisso 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. Prendono in considerazione tutti gli accessori necessari (platee e vasche di stoccaggio, sistemi di pompaggio e pre-miscelazione, caricamento e separazione solido/liquido) e le strutture eventualmente già presenti e utilizzabili.

Il sistema propone inoltre, a titolo puramente indicativo, l'ordine di grandezza relativo alla spesa per l'acquisto del terreno, anche se, al momento, non viene contemplato nella spesa iniziale. Questo aspetto non è una costante del problema, è una spesa aggiuntiva che deve essere contemplata solo in caso di necessità.

<b>COSTI FISSI</b>		
Opere civili	.....	Euro
Opere elettromeccaniche	.....	Euro
Impiantistica idraulica ed elettrica	.....	Euro
Mini rete di teleriscaldamento	.....	Euro
<b>COSTO TOTALE DI INVESTIMENTO</b>	.....	Euro
Acquisto terreno (15.000 mq/Mw)	.....	Euro

Le voci di Costo Variabile si possono classificare in:

<b>COSTI VARIABILI</b>		
Manutenzione ordinaria	.....	Euro/anno
Manutenzione CHP	.....	Euro/anno
Manutenzione straordinaria	.....	Euro/anno
Costo personale	.....	Euro/anno
<b>TOTALE COSTI VARIABILI</b>	.....	Euro/anno

- Manutenzione ordinaria relativa alle attrezzature connesse al digestore anaerobico, alle opere civili, elettromeccaniche e agli impianti idrici ed elettrici (0,03€/kWh<sup>17</sup>);
- Manodopera relativa al sistema di cogenerazione CHP: 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 <sup>18</sup> [14]. In particolare, il sistema fa riferimento ai seguenti valori indicati:

<sup>17</sup> Studi di settore

Per MCI = 0,014 €/kWh

Per TAG = 0,009 €/kWh

Per MCFC = 0,0075 €/kWh

Per SOCF = 0,0075 €/kWh

- Manutenzione straordinaria: consiste negli interventi riguardanti il consolidamento, rinnovamento e sostituzione di parti dell'impianto. Viene ipotizzata una spesa straordinaria calcolata come percentuale dell'investimento iniziale (3%<sup>19</sup>);
- Manodopera relativa alla gestione ordinaria dell'impianto (Costo Personale): 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; il sistema considera un importo standard per unità di energia elettrica prodotta (25 €/MWh<sup>20</sup>);

Per la valutazione dei Ricavi ottenibili da un investimento in tale settore bisogna tener conto delle agevolazioni statali, offerte in termini di incentivazione dell'energia prodotta. Il sistema propone una scelta in relazione al tipo di incentivazione (Certificati Verdi, Tariffa Onnicomprensiva) offre la possibilità di valutare i ricavi relativi all'eventuale vendita dell'energia termica, qualora ci siano le condizioni a contorno che rendano possibile tale operazione.

<sup>18</sup> Si tenga presente che tali affermazioni sono supportate da studi di settore le cui valutazioni sono sulla base di motori che utilizzano, come combustibile, il metano da rete. In questa sede si parla invece di metano da Biogas. Questo comporta una revisione accurata di alcuni parametri utilizzati per le elaborazioni.

<sup>19</sup> Studi di settore

<sup>20</sup> Studi di settore

### Passaggio 5 - Analisi economica

SCELTA DEL SISTEMA DI INCENTIVAZIONE:

*Gli impianti a biogas che generano energia elettrica possono accedere a forme di incentivazione come certificati verdi come descritto nel decreto del Ministero dello Sviluppo Economico del 18 dicembre 2008.*

*Su richiesta del produttore, per gli impianti entrati in esercizio in data successiva al 31 dicembre 2007, di potenza nominale media annua non superiore ad 1 MW, l'energia netta EI immessa nel sistema elettrico può essere incentivata, con una tariffa fissa onnicomprensiva di entità variabile a seconda della fonte, per un periodo di 15 anni.*

Sistema di incentivazione:    Certificati verdi     Tariffa onnicomprensiva

*Qualora sia previsto un recupero dell'energia termica è necessario stimare un ulteriore investimento di circa € 200.000,00 per la realizzazione di una sala pompe e di una mini rete di teleriscaldamento che distribuisca il calore alle utenze situate nei pressi dell'impianto. Tale cifra rappresenta solo un valore indicativo, che va definito in dettaglio mediante uno studio tecnico che segue la valutazione preliminare*

Utilizzo di energia termica:    SI     NO

Il pulsante “calcola” consente di visualizzare tutte le informazioni utili all’analisi economica, voci di costo fisso e variabile (riportate nelle tabelle precedenti) compresa la tabella seguente relativa ai ricavi calcolati in base alle scelte appena eseguite:

RICAVI		
Vendita en. elettrica per i primi 15 anni	.....	Euro/anno
Vendita en. elettrica dopo i primi 15 anni	.....	Euro/anno
Vendita energia termica	.....	Euro/anno
<b>TOTALE RICAVI (primi 15 anni)</b>	.....	Euro/anno
<b>TOTALE RICAVI (anni successivi)</b>	.....	Euro/anno

Le voci in tabella fanno riferimento a :

- Vendita energia elettrica al gestore della rete garantita, per i primi 15 anni della vita utile dell’impianto, dall’incentivazione statale: viene calcolata operando la scelta sul sistema di incentivazione e in base agli autoconsumi da parte del digestore e degli ausiliari del cogeneratore e alla quota autoconsumata dall’azienda agricola;
- Vendita energia elettrica per gli anni successivi: il prezzo di vendita è stabilito da ENEL;
- Vendita del surplus di energia termica, qualora sia possibile, calcolato in relazione all’energia autoconsumata dall’impianto. L’energia autoconsumata viene calcolata operando un bilancio termico sull’impianto;

L'analisi economica di un impianto di recupero biomassa è in realtà più complesso; esistono ulteriori voci di costo da mettere in bilancio, come ad esempio:

- Eventuali ricavi da conferimenti: calcolati sulla base delle specifiche realtà aziendali.
- Produzione/conferimento di matrici organiche: vengono considerati tutti i costi relativi alla produzione delle biomasse vegetali (silomais, silosorgo, siloerba ecc.) o di conferimento da aziende esterne. Quando possibile i costi dovrebbero essere stimati in sinergia con la specifica azienda al fine di tenere conto delle realtà agricole locali, che possono variare significativamente con la resa produttiva, la disponibilità di acqua e di attrezzature aziendali;
- Spese relative ad analisi chimiche: viene conteggiata una quota di analisi chimiche che periodicamente dovrebbe essere prevista per valutare il processo di digestione e la qualità delle biomasse caricate e scaricate;
- Eventuali imprevisti e spese generali: vengono calcolati come percentuale dei costi totali.

Ad oggi tale sezione dello strumento di calcolo è ancora in lavorazione. Si ritiene opportuno ricordare che lo scopo del presente studio è stato quello di creare uno strumento di calcolo che nel tempo possa aumentare le proprie potenzialità, offrendo soluzioni ad ampio raggio e sempre più specifiche ed appropriate alle numerose variabili in gioco.

Al termine di tutte queste valutazioni, la cui complessità dipende in primo luogo dal tipo di azienda e dalla tipologia di biomasse considerate, l'analisi finanziaria permette di sintetizzare la redditività con alcuni indici di uso comune:

- tempo di ritorno: fornisce una indicazione sintetica della bontà dell'investimento;
- valore attuale netto (VAN): valore attualizzato, scontato secondo il tasso di interesse, dei redditi futuri (ricavi meno costi) compreso l'investimento iniziale, generati dall'investimento. Rappresenta, in sostanza, il capitale totale che rimane all'imprenditore, in un periodo di tempo stabilito dopo avere pagato tutti i costi di produzione e di investimento;
- tasso interno di rendimento (TIR): esprime l'interesse al quale l'operazione remunera la somma investita per anno di vita utile. In questo caso la vita utile si intende pari alla durata dei certificati verdi più l'eventuale estensione;

Di questi parametri finanziari, sono stati fin'ora approfonditi solo i primi due dell'elenco; lo sviluppo futuro del Servizio Web AIDA prevede di ampliare anche l'analisi economica.



### Prezzi di vendita dell'energia e incentivi economici

La voce di costo che maggiormente incide sull'investimento è rappresentata dalle opere edili necessarie per le strutture di ricezione e trattamento delle biomasse, per le strutture di produzione e stoccaggio del biogas e per le strutture di stoccaggio del digestato.

A queste si aggiungono le voci di costo delle opere elettromeccaniche, che comprendono:

- il cogeneratore,
- le attrezzature per il carico delle matrici,
- gli allacciamenti elettrici.

La soglia dimensionale limite per rendere redditizio un impianto di biogas si colloca in genere intorno ai 50-100 kWe di potenza elettrica installata.

I costi di investimento variano in funzione della taglia; il sistema considera i seguenti valori di riferimento:

**Tabella 8** – Costi di investimento dell'impianto in funzione della tipologia di CHP associato<sup>21</sup>

Costi di investimento impianto compreso il sistema di cogenerazione	
Impianto associato a	€/KW
MCI	5.000
TAG	7.000
MCFC	15.000
SOFC	20.000

Oltre all'investimento, altri parametri fondamentali per valutare la sostenibilità economica dell'impianto sono rappresentati: dal costo di approvvigionamento delle biomasse utilizzate, che incide in modo molto più significativo negli impianti di taglia industriale (grossa taglia) dove la biomassa può arrivare a rappresentare anche il 100% dei prodotti utilizzati; dalle dinamiche di sviluppo del mercato e dalle disponibilità di autoproduzione del substrato. La Legge Finanziaria 2008 ha fissato incentivi più elevati per l'utilizzo di biomasse rinnovabili prodotte localmente (entro 70 km) e per impianti medio-piccoli (potenza elettrica inferiore a 1 MWe).

In particolare i parametri economici a cui il modello fa riferimento sono i seguenti:

**Tabella 9** – Prezzi di vendita del settore energia

PREZZI DI VENDITA		
Prezzo fisso Energia (di riferimento)	180	€/MWh

<sup>21</sup> 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.

Prezzo medio Energia (per il Calcolo CV)	67.18	€/MWh
Tariffa Onnicomprensiva	0,28	€/kWh
Coefficiente Biomassa*	1,8	Coeff.
Vendita Energia Termica	0,06827	€/kWh
Vendita Energia Elettrica (senza incentivi)	0,06621	€/kWh

**Tabella 10** - Legge Finanziaria aggiornata dalla Legge 23/07/2009 n.99

N°	FONTE	COEFFICIENTE
1	Eolica per impianti di taglia inferiore a 200 kW	1,00
1 bis	Eolica offshore	1,50
3	Geotermica	0,90
4	Moto ondoso e maremotrice	1,80
5	Idraulica diversa da quella del punto precedente	1,00
6	Rifiuti biodegradabili, biomasse diverse da quelle di cui al punto successivo	1,30
7	Biomasse e biogas prodotti da attività agricole, allevamento e forestale da filiera corta	1,80
8	Gas di discarica e gas residuati dai processi di depurazione e biogas diversi da quelli del punto precedente	0,80

### Certificato Verde

Il nuovo decreto, a tal proposito, recita come segue: “all’energia elettrica prodotta da impianti alimentati a biomasse, della potenza superiore a 1 MW, è riconosciuto un coefficiente di moltiplicazione dei certificati verdi pari a 1,8. Ma le biomasse utilizzate devono provenire da filiera corta, ovvero essere ottenute entro un raggio di 70 km dall’impianto che le utilizza”. In alternativa le biomasse possono provenire da accordi di filiera o contratti quadro ai sensi degli art. 9 e 10 del dlgs 102/2005.

Il Gestore dei Servizi Energetici, ai sensi di quanto previsto all'articolo 2, comma 148 della Legge n. 244 del 24 dicembre 2007 (Finanziaria 2008), rende noto agli operatori il prezzo di offerta dei propri Certificati Verdi (CV) per l'anno 2010. Tale prezzo è pari a 112,82 €/MWh, al netto di IVA, calcolato come differenza tra:

- il valore di riferimento, fissato in sede di prima applicazione dall'articolo 2, comma 148 della Legge n. 244 del 24 dicembre 2007, pari a 180,00 €/MWh;

- il valore medio annuo registrato nel 2009 del prezzo di cessione dell'energia elettrica di cui all'articolo 13, comma 3, del D.Lgs. 387/03, pari a 67,18 €/MWh, definito dalla AEEG con la deliberazione ARG/elt n. 3/10.

In definitiva: 
$$\text{PREZZO CV} = \text{MWh}_{\text{prodotti}} \times 1,8 \times \left( 180 \cdot \frac{\text{€}}{\text{MWh}} - \text{Prezzo}_{\text{energia}} \right)$$

La legge n. 222/2007 prevedeva che, entro 60 giorni dalla sua emanazione (cosa non avvenuta), un apposito decreto interministeriale avrebbe dovuto definire «le modalità con le quali gli operatori della filiera di produzione e distribuzione di biomasse e biogas derivanti da prodotti agricoli, di allevamento e forestali, ivi inclusi i sottoprodotti, sono tenuti a garantire la tracciabilità e la rintracciabilità della filiera».

Il predetto decreto ha colmato anche questo vuoto.

Il testo precisa che per «biomassa da filiera corta» si intende la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura, comprese sostanze vegetali animali, dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, prodotti entro il raggio di 70 km dall'impianto di produzione dell'energia elettrica.

La lunghezza del predetto raggio è misurata come la distanza in linea d'aria che intercorre tra l'impianto di produzione dell'energia elettrica e i confini amministrativi del Comune in cui ricade il luogo di produzione della biomassa.

Per quanto riguarda la tracciabilità, il produttore di energia dovrà acquisire, trasmettere al Mipaaf e conservare, per ogni singolo fornitore della biomassa, una serie di informazioni di dettaglio circa i fornitori stessi, le specie di ciascuna materia prima, la relativa superficie e i dati catastali, il quantitativo di prodotto ottenuto. In questo modo il Mipaaf potrà comunicare al Gse l'esito della verifica e, se positiva, quest'ultimo potrà riconoscere il coefficiente di moltiplicazione di 1,8 al numero dei certificati verdi ottenuti, per ogni MWh elettrico.

#### Tariffa onnicomprensiva

Su richiesta del produttore, per gli impianti entrati in esercizio in data successiva al 31 dicembre 2007, di potenza nominale media annua non superiore ad 1 MW, l'energia netta immessa da un impianto a biomasse nel sistema elettrico può essere incentivata, in alternativa ai certificati verdi, con una tariffa fissa onnicomprensiva (di cui alla Tabella 9 riferita alla Legge Finanziaria 2008) valida per un periodo di 15 anni.

Impianti fino a 1 MW (Tariffa Omnicomprensiva):

$$CV=0,28 \frac{\text{€}}{\text{kWh}_{\text{prodotti}}}$$

Al termine dei 15 anni l'energia elettrica è remunerata, con le medesime modalità, alle condizioni economiche previste dall'articolo 13 del D.lgs. 387/03.

La tariffa onnicomprensiva può essere variata ogni tre anni, con decreto del Ministro dello sviluppo economico, assicurando la congruità della remunerazione ai fini dell'incentivazione delle fonti energetiche rinnovabili. Il diritto di opzione tra i certificati verdi e la tariffa fissa è esercitato all'atto della richiesta di qualifica IAFR presentata al GSE. E' consentito, prima della fine del periodo d'incentivazione, un solo passaggio da un sistema incentivante all'altro; in tal caso la durata del periodo di diritto al nuovo sistema di incentivante è ridotta del periodo già fruito con il precedente sistema.

*Opportunità per la vendita dell'ENERGIA TERMICA:* la possibilità di vendere o utilizzare anche l'energia termica rappresenta un'ulteriore fonte di guadagno che, però, difficilmente trova uno sbocco concreto. In ogni caso si è deciso, in questo studio, di mettere in luce anche questo aspetto, perché rappresenta comunque un valore aggiunto dei sistemi cogenerativi, e la dove si presenta la possibilità di sfruttare anche la risorsa termica, è possibile mostrarne i vantaggi in termini di numero di unità abitative che possono, potenzialmente sfruttare tale risorsa.

Si tenga presente che i consumi termici di un edificio di civile abitazione (di tipologia comune) è circa  $150\text{kWh}_t/\text{m}^2$ ; si fa inoltre l'ipotesi che la dimensione media di un appartamento sia circa  $100\text{m}^2$ .

Ad esempio un impianto di 100 kW che lavora per 7500 ore/anno, produce<sup>22</sup> almeno  $750.000\text{kWh}_t$  utili per riscaldare circa  $5.000\text{m}^2$  di civile abitazione, ossia circa 50-60 appartamenti di medie dimensioni ( $100-80\text{m}^2$ ).

### Passaggio 6: Aspetti ambientali

Per quanto riguarda le connessioni fra le politiche a favore delle rinnovabili e quelle ambientali, la digestione anaerobica influisce positivamente sull'ambiente su tre fronti differenti:

- riduzione di emissione di gas ad effetto serra. L'utilizzo del biogas prodotto dal trattamento anaerobico delle biomasse in sostituzioni ai combustibili fossili contribuisce al perseguimento degli obiettivi imposti nell'ambito delle conferenze

<sup>22</sup> Si tenga presente che in media, per ogni  $\text{kWh}_{\text{el}}$  si hanno circa  $1 - 1,2\text{kWh}_t$  (Fonte: CRPA)

- internazionali sul clima e ad un riduzione della dipendenza dalle importazioni di combustibili fossili;
- ottimizzazione gestionale dei rifiuti sul territorio, qualora vengano utilizzate frazioni organiche derivanti dalla raccolta differenziata dei rifiuti urbani, scarti di macellazione e/o sottoprodotti dell'agroindustria;
  - possibile integrazione nei processi di trattamento anaerobici/aerobici degli effluenti/rifiuti per aumentare l'efficienza ambientale e ridurre i costi;
  - utilizzo del biogas come biocombustibile per autotrazione o per l'immissione in rete per aumentarne l'efficienza energetica e ridurre le emissioni di polveri e altri composti nocivi per la salute umana.

Il processo di evoluzione nella politica ambientale, che riguarda anche il settore della valorizzazione energetica delle biomasse, è condizionato dal Protocollo di Kyoto che prevede l'impegno da parte dei singoli stati di ridurre le emissioni di gas clima-alteranti. Anche per facilitare il raggiungimento degli obiettivi del Protocollo è stato approvato il Libro bianco sulle energie rinnovabili (Delibera Cipe n. 137/ 98 e D.lgs. 387/2003), dando attuazione alla Direttiva CE n. 77/2001 sulle energie rinnovabili. La politica nazionale di attuazione del Protocollo non prevede la contabilizzazione delle emissioni evitate grazie alla produzione di biogas e l'erogazione di incentivi diretti alla realizzazione degli impianti, anche se l'impiego di rinnovabili comporta evidenti effetti positivi sulle emissioni di gas di serra che sono ordinariamente conteggiate nei bilanci nazionali.

A tale scopo l'indagine proposta esegue una valutazione in termini di tep risparmiate e di tCO<sub>2</sub> evitate grazie alla valorizzazione energetica delle biomasse-rifiuti.

I parametri a cui far riferimento per i calcoli sono quelli proposti dalla Delibera EEN 09/10<sup>23</sup>[11]:

- 0,187 tep/MWh<sub>el</sub>
- 2,8 tCO<sub>2</sub>/tep<sub>risparmiate</sub>,
- 531 kgCO<sub>2</sub>/MWh<sub>el</sub>
- 310 kgCO<sub>2</sub>/MWh<sub>t</sub>

<sup>23</sup> [Allegato A 15042010](#) + DM. 18.12.2006

[Delibera EEN 09/10 - Deliberazione 12 aprile 2010 - EEN 09/10 ...](#)

L'Italia, secondo quanto previsto dal Protocollo di Kyoto, ha l'obbligo di ridurre le proprie emissioni di gas serra del 6,5%, rispetto a quelle del 1990 (516,89 MtonCO<sub>2</sub> eq), come media delle emissioni del 2008-2012.

Negli ultimi anni, per effetto congiunto della crisi, dell'aumento della quota di energie rinnovabili (+9,3% nel 2009) e di un miglioramento dell'efficienza energetica c'è stato un forte calo delle emissioni di CO<sub>2</sub>, corrispondente al 3% circa rispetto al 1990: vale a dire che nel 2009 sono state emesse 502,3 Mton CO<sub>2</sub> eq.

Per arrivare all'obiettivo previsto entro il 2012 dal Protocollo di Kyoto (483,3 MtonCO<sub>2</sub> eq. corrispondente al calo del 6,5% rispetto alle emissioni del 1990) manca una riduzione di 19 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalenti.

A tale scopo il sistema elabora il potenziale contributo che l'impianto potrebbe fornire, in relazione all'intera vita utile dello stesso, in termini di Tonnellate di CO<sub>2</sub> evitate, sia per la produzione di energia elettrica che termica.

Il suddetto contributo è stimato in funzione dei fattori di conversione delle emissioni di CO<sub>2</sub> relativi al mix del parco termoelettrico italiano (Fonte DM. 18.12.2006).

#### **Area amministratore**

Questa sessione è posta a valle delle elaborazioni e consente l'accesso, ad un soggetto scelto come "amministratore", ad un'area dedicata alla gestione degli archivi, dei parametri di base e delle librerie di funzioni implementate (qualora nascesse l'esigenza di un aggiornamento). In particolare è prevista una sessione dedicata all'aggiornamento dei database, allo scopo di fornire all'utente informazioni relative ad un potenziale di biomasse del territorio nazionale che sia quanto più prossimo al potenziale reale e non rappresenti semplicemente una fotografia "statica" delle disponibilità di tale risorsa.

## SVILUPPI FUTURI DEL MODELLO A.I.D.A.

Con la realizzazione di questo strumento l'ENEA si propone di fornire un valido supporto alle politiche nazionali sulla necessità di produrre energia da fonti alternative, quali sono le biomasse. Naturalmente affinché tale strumento possa svolgere in maniera ottimale questo ruolo deve svilupparsi e crescere nel tempo in modo tale da essere in grado di far fronte a problematiche sempre più disparate. In quest'ottica il modello è stato ideato mediante una struttura modulare in modo tale da poter scorporare le varie fasi del processo senza con questo incidere sulla struttura di base. Questo consente di modificare i vari "moduli" potenziandone le capacità. A tale scopo si propongono alcuni degli sviluppi futuri previsti per l'A.I.D.A.:

- 1) Per la tipologia di utenza "*Imprenditore Finanziario*" si prevede un approccio che parte dalla scelta della taglia di impianto e grazie all'implementazione della fase di "ricerca avanzata", sarà possibile individuare i quantitativi di biomasse necessari a sviluppare tale potenza. In questo modo l'utente, o meglio l'imprenditore finanziario, ha la possibilità di scegliere, in funzione delle analisi elaborate dal modello, che tipologia di biomassa trattare; quella naturalmente che consenta un ricavo maggiore in relazione ai costi di conferimento, trasporto, resa ed altri fattori.
- 2) L'*Imprenditore Agricolo* cerca una soluzione adeguata in grado di trattare i liquami zootecnici e gli scarti agricoli che rappresentano, per l'azienda, un costo fisso di smaltimento nonché un problema per il reperimento di terreni per lo spandimento di tali reflui in ottemperanza ai limiti di legge sul massimo carico di azoto spandibile. Realizzare un impianto che converte la biomassa in energia potrebbe significare un'utile integrazione al reddito data dalla vendita dell'energia ammortizzando le spese necessarie alla conduzione dell'attività.  
Allo stato attuale tale sessione risulta in costruzione; saranno predisposte delle schede di registrazione al sito in cui gli allevatori depositeranno i propri dati quali consistenza zootecnica, 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.
- 3) Rientra nelle prospettive future aggiornare il database delle disponibilità dell'intera gamma di biomasse presenti sul territorio nazionale (scarti agricoli, scarti

agroindustriali, colture energetiche, ed altre). Ad oggi tale aspetto è stato accantonato in attesa di una rielaborazione dei dati dell'Atlante Italiano delle Biomasse, i quali sono forniti con dettaglio provinciale, mentre l'A.I.D.A. è stato strutturato per elaborare su una scala di dettaglio più ristretta, ovvero su scala comunale. In particolare per il settore industriale le prospettive future prevedono di arricchire il database delle informazioni relative ai principali settori mediante indagini ad hoc che richiederanno la collaborazione degli esperti del settore, allo scopo di fornire lo stato dell'arte relativo al comparto dei "rifiuti organici" agroindustriali.

- 4) Le modalità di conversione della biomassa per l'impiego a fini energetici possono essere di tipo biochimico o di tipo termochimico. Il lavoro proposto ha approfondito un esempio di tecnologia biochimica consolidata e già ampiamente sviluppata quale la digestione anaerobica; ma interessante è proporre un processo differente, quale la gassificazione, valutandone le rese in termini energetici e possibilmente confrontando le due tecnologie mettendo in evidenza i reciproci punti di forza e di debolezza.

L'AIDA è nata con questa predisposizione grazie alla modularità con cui è stata progettata; prevede infatti un ramo espandibile per gli sviluppi di un nuovo scenario tecnologico.

- 5) Si ritiene di fondamentale importanza approfondire l'indagine relativa alla FORSU allo scopo di individuare l'orientamento dei flussi mediante la localizzazione degli impianti di raccolta e lavorazione del materiale.
- 6) Il sistema, ad oggi, elabora un controllo sul contenuto di Carbonio/Azoto della miscela che stabilisce le condizioni affinché sia possibile operare una trasformazione mediante la digestione anaerobica. Nel caso di esito negativo (ossia C/N non appartiene all'intervallo ideale 20-35), il sistema invita l'utente ad operare una correzione mediante l'aggiunta di specifiche matrici il cui contenuto C/N possa bilanciare il valore C/N della miscela in esame.

Si prevede, come sviluppo futuro, la possibilità che il sistemi operi in automatico un bilancio di massa in base al contenuto ideale di C/N della miscela, fornendo direttamente la quantità di biomassa necessaria (una volta scelta la tipologia di



matrice che s'intende codificare) che renda possibile la trasformazione mediante la digestione anaerobica.

- 7) Nella fase della scelta della tipologia di processo da adottare, il sistema opera un controllo sul contenuto dei solidi totali:
- Se  $\%ST < 10\%$  → il sistema consiglia un *trattamento UMIDO (WET)*, essendo la miscela sufficientemente diluita;
  - Se  $10\% < \%ST < 20\%$  → il sistema consiglia un *trattamento SEMISECCO (SEMYDRY)*.
  - Se  $\%ST > 20\%$  → il sistema consiglia un *trattamento SECCO (DRY)*.

Si prevede di forzare il sistema ad un determinato tipo di processo che non sia prettamente quello imposto dalle caratteristiche della miscela in esame. Questo consiste nell'eseguire un bilancio di massa in funzione del contenuto ideale di ST che sia proprio di uno specifico trattamento.

- 8) Legata alla fase della scelta della tipologia di processo si colloca anche l'opzione di scelta per la tecnologia Monostadio o Bistadio. Ad oggi l'A.I.D.A. propone esclusivamente la tecnologia monostadio. È noto che la tecnologia bistadio consente di incrementare notevolmente le rese in termini di produzione di biogas, poiché migliora la gestione dei processi biologici, ma è anche vero che l'utilizzo di tale tecnologia presenta anche delle ripercussioni in termini di costi di investimento. Ad oggi tale aspetto non è stato ancora preso in considerazione, ma si prevede di dotare il modello di un'analisi economica di maggior dettaglio che particolarizzi le varie voci di costo per le diverse soluzioni tecnologiche esistenti.
- 9) Si prevede la possibilità di fornire la stampa dei risultati parziali e definitivi in formato pdf.
- 10) Si prevede l'implementazione della fase di clean-up e reforming.
- 11) Lo strumento di calcolo sarà completato, inoltre, dall'analisi di sensitività, che consente di valutare la variazione della redditività dell'investimento, sulla base dei principali fattori economici: costo delle matrici, saggio di sconto bancario, prezzo dei certificati verdi, quota di incentivo in conto capitale ecc. L'utente non dovrà fare altro che modificare il valore della variabile e il modello ricalcola automaticamente tutti gli indici finanziari collegati.

- 12) Altro settore di interesse risiede nell'assistenza tecnica biologica dei substrati. È indispensabile, per l'ottimizzazione del processo, monitorare lo stato e le caratteristiche fisico-chimiche-biologiche dei substrati utilizzati. A tale scopo è necessario considerare una spesa aggiuntiva che svolga il ruolo di assistenza a tale fase, fermo restando che spesso, con le nuove tecnologie proposte, tali sistemi di controllo sono già previsti dal "pacchetto chiavi in mano".
- 13) Trattandosi di una tecnologia ormai consolidata (D.A.), la soluzione "Pacchetto chiavi in mano" rappresenta una soluzione pratica che sta conquistando sempre più maggiori consensi. A tal proposito si prevede di dotare l'A.I.D.A. di un database facilmente aggiornabile che proponga soluzioni tecnologiche ad hoc, indicando brevetti propri di aziende costruttrici di impianti a biogas così da fornire le prime indicazioni utili all'utente per la realizzazione dell'opera.
- 14) Altro aspetto fondamentale, soprattutto in ambito di soluzioni su scala industriale, è rappresentato dagli eventuali ricavi conseguibili grazie ai conferimenti. A tale scopo è necessario aggiornare il database dei costi relativi a ciascuna matrice digeribile e fare in modo di contemplare tale fattore nella fase di analisi economica.
- 15) È necessario porre l'attenzione sulla gestione del digestato:
- trattamento eventuale di separazione solido-liquido e/o riduzione del contenuto di azoto;
  - stoccaggi;
  - utilizzazione agronomica;
  - compatibilità con le esigenze colturali aziendali.

A tal proposito il modello analizzerà le quantità e le caratteristiche fisico-chimiche del digestato prodotto, fornendo le informazioni necessarie all'utente per la successiva gestione in ottemperanza ai limiti imposti dalla "legge nitrati"

- 16) Diversi studi di settore<sup>24</sup> testimoniano che nell'ambito del recupero delle deiezioni zootecniche la tecnica di stabulazione gioca un ruolo importante nella definizione dei volumi e delle caratteristiche di concentrazione di sostanza secca e organica. Il rendimento in biogas, di conseguenza il rendimento energetico del processo di digestione anaerobica, è molto variabile e dipende dalla biodegradabilità della

<sup>24</sup> CRPA

sostanza organica del substrato trattato; nel caso degli effluenti zootecnici può variare dall'85% al 60% a seconda che si tratti di effluenti appena escreti o che hanno subito uno stoccaggio prolungato. Risultati di studi sperimentali condotti dal CRPA dimostrano come il potenziale metanigeno (cioè la produzione di metano per kg di sostanza organica) dei liquami, contrariamente a quanto si pensa, può raggiungere valori molto elevati, a patto però di avere un'organizzazione della gestione degli effluenti prodotti nei ricoveri che consenta una frequente rimozione e un rapido avvio all'impianto di digestione anaerobica.

L'economicità della produzione risulta ancor più evidente se si considera che la dimensione del digestore non viene modificata, in quanto il carico organico volumetrico non si modifica in modo sostanziale, mentre la produzione volumetrica specifica (metri cubi di biogas per metro cubo di digestore) aumenta. Si è visto che la produzione specifica di metano per kg di sostanza organica del liquame suinicolo di buona qualità può avvicinarsi molto a quella di un buon insilato di mais.

Come primo approccio per la quantificazione delle produzioni delle deiezioni il criterio di calcolo di base non ha tenuto conto del contributo relativo alla tecnica di stabulazione. La rinuncia è stata dettata dalla difficoltà di estendere tale indagine su una così ampia scala di dettaglio (a livello aziendale). A tale scopo si rendono necessarie ulteriori indagini, che possano avvalersi della collaborazione delle singole aziende (mediante censimenti ad hoc) in modo da fornire maggior validità ai risultati attesi.

- 17) Si ritiene opportuno prevedere un LAYOUT di impianto che consenta di visualizzare, mediante uno schema di semplice comprensione, il bilancio di massa e di energia dell'impianto.
- 18) Nella fase relativa alla scelta del sistema di cogenerazione si ha la possibilità di scegliere la tipologia di motore (MCI, TAG, MCFC, SOFC) e la taglia in relazione alla potenza installabile. Nella pratica professionale si è soliti prediligere componenti di ugual taglia che rendono l'impianto modulare. D'altra parte è necessaria un'approssimazione ad un numero intero di moduli, allo scopo di ottimizzare lo sfruttamento della potenza installabile a disposizione. Ciò comporta un funzionamento del motore con un regime di carico differente. Al momento il sistema non prevede alcuna conseguenza in relazione al differente regime di

funzionamento, pur consapevoli delle ripercussioni di tale aspetto in termini di efficienza del motore e di surplus di biogas da bruciare in torcia. Si prevede, a tale scopo, l'implementazione di una fase che valuti, nelle specifiche condizioni, la % del regime di carico, qualora la potenza installabile sia inferiore alla potenza del motore, e/o la quantità di biogas da bruciare in torcia, qualora la potenza installabile sia superiore alla potenza del motore.

19) Si prevede inoltre la possibilità di estendere il modello ad altre tecnologie di trattamento delle biomasse, come la combustione, la gassificazione e/o la pirogassificazione.

## CONCLUSIONI

L'attività di ricerca dal titolo *“Sviluppo di un modello di calcolo per lo studio di scenari energetici basati sull'impiego delle celle a combustibile a carbonati fusi con biogas prodotto da diverse tipologie di biomasse e/o rifiuti”*, svolta dal DETEC (Università degli Studi di Napoli, FedericoII, prof. Francesco Reale) nell'ambito della seconda annualità dell'Accordo di Programma MSE-ENEA ha preso il via dall'aggiornamento e miglioramento del modello preliminare di calcolo sviluppato durante la prima annualità.

A.I.D.A (acronimo di Analisi di Impianti di Digestine Anaerobica) consente di affrontare lo studio di fattibilità per la realizzazione di un impianto a biogas che sfrutti i rifiuti fermentescibili in un contesto aziendale e non solo.

L'applicazione di tale modello ha lasciato intravedere delle reali possibilità di sviluppi sull'impiego delle biomasse per fini energetici se accoppiato interattivamente al database *“Atlante delle Biomasse”*, rielaborato con dettaglio comunale; un database lato server in grado di memorizzare una consistente mole di dati e fornire un accesso rapido, efficace e simultaneo ad una pluralità di utenti.

Le interfacce elaborate non sono statiche ma si adattano a seconda delle esigenze dell'utente ed è proprio grazie alla loro dinamicità e adattabilità che è possibile guidare l'utente in un percorso di scelta preferenziale finalizzata a sviluppare un possibile scenario di utilizzo della biomassa accompagnato da uno studio di fattibilità tecnica ed economica. La modularità e versatilità dei linguaggi di programmazione utilizzati permettono lo sviluppo, in futuro, di differenti scenari impiantistici e soluzioni tecnologiche quali la gassificazione, la pirolisi ecc..che utilizzino la biomassa, valutando le rese in termini energetici e confrontando le tecnologie mettendo in evidenza i reciproci punti di forza e di debolezza.

Grazie a tale strumento è possibile immaginare l'utilizzo delle Biomasse come risorse preziose per il sostentamento di piccole comunità e non solo, che offre la possibilità di investimento su scala provinciale, regionale e nazionale che vede coinvolti soggetti come pubbliche amministrazioni, Ministeri, Regioni, Enti Locali, insieme a figure imprenditoriali (imprenditore agricolo, imprenditore finanziario).

Dal momento che lo smaltimento dei rifiuti rappresenta un enorme problema comune un po' a tutte le realtà sociali, non sfruttare le potenzialità legate alle biomasse è un'incoscienza a cui non può cedere una società che voglia definirsi civile.

Le problematiche ambientali di cui oggi tanto si parla, conducono il mondo scientifico e la società civile in genere, ad interrogarsi su quali possano essere le soluzioni tecnologiche che da un lato riescano ad allentare sempre più la dipendenza dai combustibili fossili, dall'altro che non vadano a discapito del confort di vita a cui la società capitalistica e consumistica non vuole per nessuna ragione rinunciare.

Si sono avviate negli ultimi anni moltissime campagne di sensibilizzazione in merito alle tematiche ambientali, che pure se condivise da tutti, non hanno condotto in molti paesi a bruschi cambiamenti di rotta, come invece ci si sarebbe augurati.

Nella società consumistica di oggi, purtroppo non è così: la classe imprenditoriale mira al profitto ad ogni costo, e l'etica economica è una materia in molti casi inapplicata. Qualora si propongono delle soluzioni alternative, queste devono essere in grado, per poter essere accettate, di garantire guadagni certi e rapidi al pari di soluzioni tradizionali. Il valore ambientale legato a queste soluzioni diventa nella migliore delle ipotesi un valore aggiunto, non un criterio discriminante tra diverse soluzioni.

La politica ormai da anni ha riconosciuto nella salvaguardia e nel ripristino ambientale un ruolo di primo piano, ma potrebbe e dovrebbe, in tal senso, fare in modo da accelerare l'acquisizione di normative specifiche e soprattutto che queste normative trovino rapida applicazione.

Basti pensare che il Protocollo di Kyoto ha impiegato quasi un decennio per divenire applicativo e che ad oggi ci sono ancora paesi come Stati Uniti e Cina che, pur essendo tra i principali colpevoli di emissioni climalteranti, si rifiutano di sottoscriverlo.

In uno scenario come questo appena dipinto, coscienti di vivere in un mondo dove è l'economia a farla da padrone e che certe dinamiche economiche e sociali saranno dure a morire, l'unica strada da intraprendere, se si vuole fare qualcosa di serio, è quella di far sviluppare delle tecnologie alternative che per chiunque le adotti, rappresentino una fonte di risparmio o al massimo, nella migliore delle ipotesi, un guadagno. In quest'ottica si inserisce il recupero di biogas dalle biomasse e la sua valorizzazione energetica. Con esclusione delle colture cosiddette energetiche, le biomasse vengono prodotte indipendentemente dal considerare o meno le problematiche legate all'ambiente.

D'altra parte nel momento in cui la biomassa (a qualsiasi categoria ci si riferisca) viene prodotta, simultaneamente nasce il problema legato al trattamento e smaltimento di quelli che si definiscono i sottoprodotti ad essa associati. I costi di trattamento e smaltimento hanno un peso fondamentale nella valutazione di fattibilità di un investimento e in molti

casi fanno da ago della bilancia. La valorizzazione del biogas da esse recuperato potrebbe agire positivamente in tal senso, come ormai dimostrato da molti studi di settore, dallo sviluppo che questa filiera ha in molti paesi.

Una maggiore attenzione deve essere rivolta alla questione ambientale: con 550 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub>, l'Italia è il terzo paese europeo per emissioni (era quinto nel 1990 e quarto nel 2000<sup>25</sup>). Rispetto al 1990 - anno di riferimento per l'obiettivo di riduzione del 6,5% entro il 2010 del Protocollo di Kyoto - la crescita delle emissioni lorde italiane è stata del 7,1%, soprattutto a causa dell'aumento dei consumi per trasporti (+24%), della produzione di energia elettrica (+14%) e della produzione di riscaldamento per usi civili (+5%). Le emissioni nette, considerando i cambiamenti d'uso del suolo e l'incremento della superficie forestale, sono cresciute del 5%. Tutto ciò, mentre a livello europeo si registra una riduzione del 4,3% delle emissioni rispetto al 1990.

L'Italia deve arrivare al 17% di produzione da fonti rinnovabili (dall'attuale 5,2%) rispetto ai propri consumi entro il 2020. Questo obiettivo fissato dall'Unione europea, vincolante per tutti i Paesi membri, prevede un impegno preciso delle Regioni italiane. L'Italia deve arrivare ad una produzione da fonti rinnovabili di 22,5 Mtep (milioni di tonnellate equivalenti di petrolio) e quindi agire sulle principali voci dei consumi energetici: elettricità, calore, raffrescamento, biocarburanti.

La sfida è quella di trasformare l'obbligo in una possibilità di cambiamento in positivo, spingendo verso un'opportunità che si concretizza nella politica del Waste to Energy, investendo quindi sempre più nel campo delle biomasse. Un settore questo che produce innovazione e crea nuovi posti di lavoro in ogni territorio locale, a seconda delle vocazioni e delle risorse naturali presenti.

---

<sup>25</sup> Comunicati stampa del 22/02/2010 Ambiente Italia 2010, il rapporto annuale sullo stato di salute del Paese di Legambiente.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Report RSE/2009/182 – Accordo di Programma MSE-ENEA. Titolo: Analisi e stima quantitativa della potenzialità di produzione energetica da biomassa digeribile a livello regionale. Studio e sviluppo di un modello per unità energetiche. Parte 1 – Metodologia.  
Autori: F. Reale, R. Stolica, M. Gaeta, M. Ferri, M. Sarnataro, V. Vitale
- [2] Report RSE/2009/185 – Accordo di Programma MSE-ENEA. Titolo: Analisi e stima quantitativa della potenzialità di produzione energetica da biomassa digeribile a livello regionale. Studio e sviluppo di un modello per unità energetiche. Parte 4 – Sviluppo di un modello energetico.  
Autori: F. Reale, R. Stolica, M. Gaeta, M. Ferri, M. Sarnataro, V. Vitale
- [3] Report RSE/2009/167 - Accordo di Programma MSE-ENEA. Titolo: Censimento potenziale energetico biomasse, metodo indagine, atlante Biomasse su WEB-GIS V. Motola, N. Colonna, V. Alfano, M. Gaeta, S. Sasso, V. De Luca, C. De Angelis, A. Soda, G. Braccio
- [4] Banca dati nazionale (BDN) dell'anagrafe zootecnica dell'Istituto Zooprofilattico Sperimentale di Teramo (IZS) (stime all'anno 2006)
- [5] ISTAT – Consistenza zootecnica – 2006
- [6] Studio prodotto dall'ISTAT (2006) dal titolo “Waste statistics on agriculture, forestry and fishing sectors”
- [7] ISPRA, Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale (ex APAT) – Rapporto Rifiuti 2007
- [8] ISTAT – Censimento popolazione
- [9] ISTAT - Sistema delle Indagini sulle Acque (SIA) –“Censimento delle risorse idriche ad uso civile”, con dati al 2008 e svolta nel 2009, copertura nazionale
- [10] Fonti commerciali per l'archivio motori:  
- Motori Jenbacher - [www.gejenbacher.com](http://www.gejenbacher.com)  
(link [http://www.gepower.com/prod\\_serv/products/recip\\_engines/en/index.htm](http://www.gepower.com/prod_serv/products/recip_engines/en/index.htm))  
- Motori CPL CONCORDIA (Bibloc e Sincro) - <http://www.cpl.it>  
(link: [http://www.cpl.it/comunicazione/depliant\\_prodotti\\_e\\_servizi](http://www.cpl.it/comunicazione/depliant_prodotti_e_servizi))  
- Motori gruppo AB Ecomax Bio - <http://www.gruppoab.it/>  
(link: <http://www.gruppoab.it/ecomaxbio.htm>)  
- Motori Deutz iveco cummins :Documento Comitato Termotecnico Italiano (CTI) Apparecchi per la conversione energetica del biogas - 2007  
- Celle e Motori MTU <http://www.mtu-online.com/>  
- Turbine - [www.capstoneturbine.com/](http://www.capstoneturbine.com/)  
(link <http://www.capstoneturbine.com/prodsol/solutions/chp.asp>)



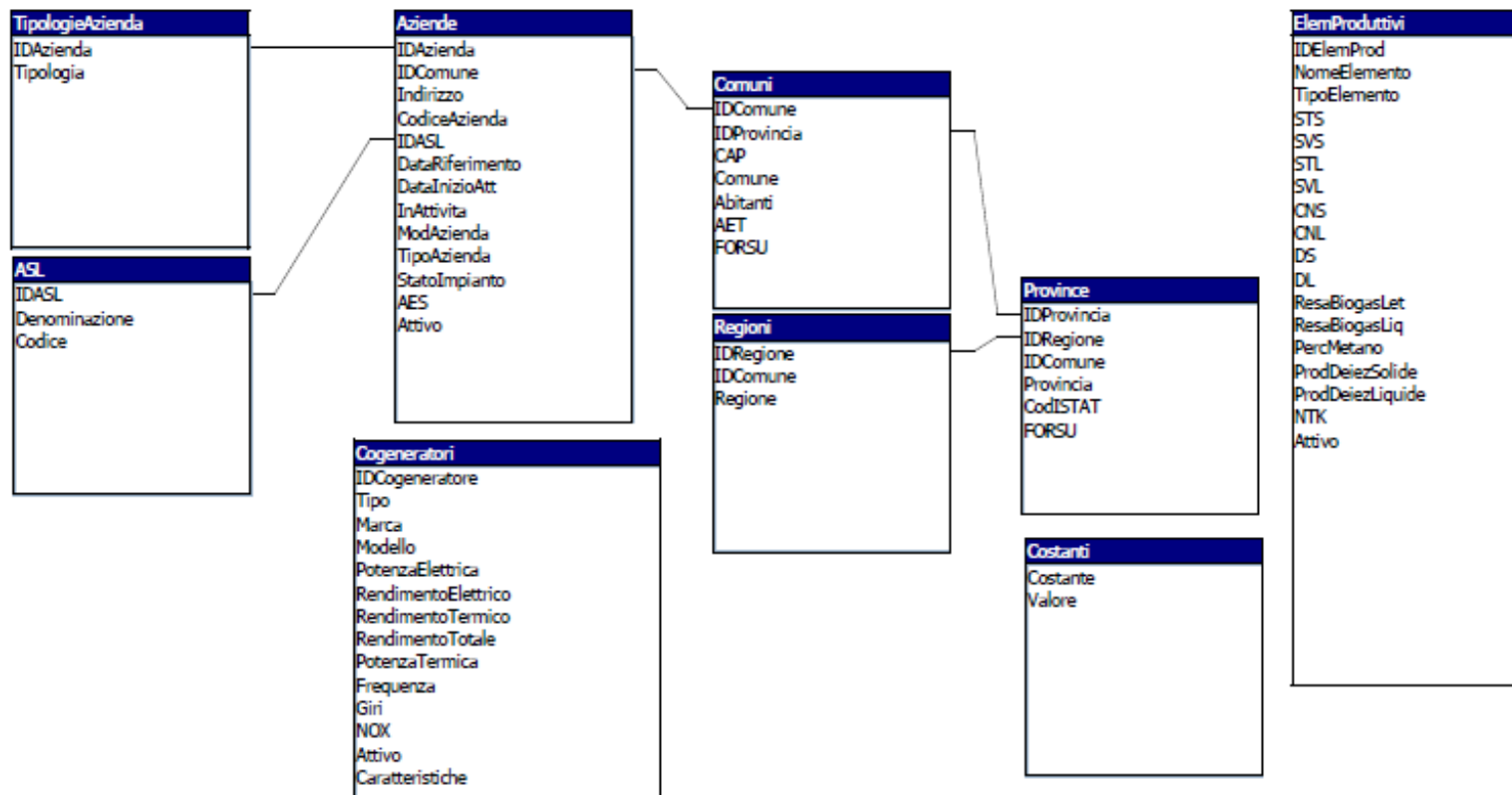
[11] Allegato A 15042010, Delibera EEN 09/10 - Deliberazione 12 aprile 2010 - EEN 09/10

[12] CTI 2008 - Consumi elettrici del settore domestico (pag 19)

[13] Confindustria - <http://www.confindustriaixi.it/documenti/Micro-cogenerazione.pdf>

# ALLEGATO TECNICO

## TABELLE RELAZIONALI



## **Note informative:**

Di seguito saranno proposti i contenuti delle tre tabelle relazionali principali:

1. ELEMENTI PRODUTTIVI
2. COGENERATORI
3. 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:

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

<sup>2</sup>Indica le matrici il cui valore di default è rappresentato dalla densità;

<sup>3</sup>Indica 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.

## 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 <sup>3</sup>	RESIDUI COLTURALI	89,5	88	≈	≈	19	≈
28	Trifoglio	COLTURE ENERGETICHE	20	80	≈	≈	27	≈
29	Paglia <sup>3</sup>	RESIDUI COLTURALI	87,5	87	≈	≈	100	≈
30	Stocchi di mais	RESIDUI COLTURALI	86	72	≈	≈	12	≈

Tabella 11.1 – Tabella degli Elementi Produttivi: Caratteristiche Fisiche e Rese in Biogas

IDElemProd numero identificativo	DS Densità (Letame)* t/m <sup>3</sup>	DL Densità (Liquame) t/m <sup>3</sup>	ResaBiogasLet Resa Biogas (Letame)* Nm <sup>3</sup> /kgSV <sub>let</sub>	ResaBiogasLiq Resa Biogas (Liquame) Nm <sup>3</sup> /kgSV <sub>liq</sub>	PercMetano % CH <sub>4</sub> %	ProdDeiezSolide Produzione Letame t/capo anno	ProdDeiezLiquide Produzione Liquame m <sup>3</sup> /capo anno	NTK 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 <sup>3</sup>	SCARTI AGROINDUSTRIALI	2,9	94,5	≈	≈	15	≈
32	Melasse <sup>3</sup>	COLTURE ENERGETICHE	80	95	≈	≈	20	≈
33	Siero di latte	SCARTI AGROINDUSTRIALI	5,4	86	≈	≈	27	≈
34	Scarti vegetali <sup>3</sup>	SCARTI AGROINDUSTRIALI	12,5	83	≈	≈	12	≈
35	Insilato sorgo zuccherino	COLTURE ENERGETICHE	30	90	≈	≈	12	≈
36	Scarti di Frumento <sup>1,2,3</sup>	SCARTI AGROINDUSTRIALI	30	90	≈	≈	12	≈
37	Barbabietola da zucchero <sup>1,2</sup>	RESIDUI COLTURALI	22,5	90	≈	≈	12	≈
38	Pastazzo di agrumi <sup>3</sup>	SCARTI AGROINDUSTRIALI	13	97	≈	≈	15	≈
39	Colletti di barbabietola <sup>3</sup>	RESIDUI COLTURALI	15	80	≈	≈	12	≈
40	Lieviti birrerie <sup>3</sup>	SCARTI AGROINDUSTRIALI	22	96	≈	≈	15	≈
41	Buccette e semi di pomodori	RESIDUI COLTURALI	25	95	≈	≈	12	≈
42	Scarti di frantoio <sup>3</sup>	SCARTI AGROINDUSTRIALI	95	90	≈	≈	15	≈
43	Scarti di patata <sup>1,2</sup>	SCARTI AGROINDUSTRIALI	13,5	90	≈	≈	12	≈
45	Fanghi di sangue <sup>2</sup>	SCARTI AGROINDUSTRIALI	18	96	≈	≈	12	≈
46	Farina di sangue <sup>1,2</sup>	SCARTI AGROINDUSTRIALI	90	80	≈	≈	4	≈
47	Scarti macellazione <sup>3</sup>	SCARTI AGROINDUSTRIALI	15	90	≈	≈	5	≈
48	Vinacce <sup>3</sup>	RESIDUI COLTURALI	47	82	≈	≈	15	≈
49	Scarti ortofrutticoli <sup>1,2,3</sup>	SCARTI AGROINDUSTRIALI	15	76	≈	≈	12	≈
50	Scarti di panificio <sup>1,2,3</sup>	SCARTI AGROINDUSTRIALI	80	97	≈	≈	12	≈
53	Fogliame <sup>2</sup>	RESIDUI COLTURALI	85	82	≈	≈	50	≈
54	Foglie di rapa <sup>2</sup>	RESIDUI COLTURALI	16,2	79	≈	≈	15,5	≈
55	Pianta di patata <sup>2</sup>	RESIDUI COLTURALI	25	79	≈	≈	20,5	≈
56	Vinacce di mela <sup>2</sup>	SCARTI AGROINDUSTRIALI	25	86	≈	≈	30	≈
57	Scarti di verdura <sup>2</sup>	SCARTI AGROINDUSTRIALI	12,5	83	≈	≈	15	≈
58	Verde pubblico <sup>2</sup>	CIVILE	11,7	90	≈	≈	19,5	≈
59	Trebbia di birra <sup>2</sup>	SCARTI AGROINDUSTRIALI	18	80	≈	≈	9,5	≈
60	FORSU	CIVILE	15	85	≈	≈	27	≈
61	Reflui civili <sup>3</sup>	CIVILE	5	70	≈	≈	11	≈
62	Letame equino	ZOOTECNICO	51,5	75	≈	≈	25	≈
63	Insilato di mais	COLTURE ENERGETICHE	34	86	≈	≈	12	≈

**Tabella 1.12 - Tabella degli Elementi Produttivi: Caratteristiche Fisiche e Rese in Biogas**

IDElemProd numero identificativo	DS Densità (Letame)* t/m <sup>3</sup>	DL Densità (Liquame) t/m <sup>3</sup>	ResaBiogasLet Resa Biogas (Letame)* Nm <sup>3</sup> /kgSV <sub>let</sub>	ResaBiogasLiq Resa Biogas (Liquame) Nm <sup>3</sup> /kgSV <sub>liq</sub>	PercMetano % CH <sub>4</sub> %	ProdDeiezSolide Produzione Letame t/capo anno	ProdDeiezLiquide Produzione Liquame m <sup>3</sup> /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 1.13 - Tabella degli Elementi Produttivi: Caratteristiche Fisiche e Rese in Biogas**

## 2 - COGENERATORI

IDCogeneratore	Tipo	Marca	Modello Codice	PotenzaElettrica 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	1.063	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	1.060	36,9
16	MCI	JENBACHER	412	844	41,9
17	MCI	JENBACHER	416	1.131	42,1
18	MCI	JENBACHER	420	1.415	42,1
19	MCI	JENBACHER	612	1.458	39,2
20	MCI	JENBACHER	616	1.946	39,2
21	MCI	JENBACHER	620	2.425	39,1
22	MCI	JENBACHER	612	1.458	39,8
23	MCI	JENBACHER	616	1.946	39,8
24	MCI	JENBACHER	620	2.425	39,7
25	MCI	JENBACHER	612	1.432	39,1
26	MCI	JENBACHER	616	1.914	39,2
27	MCI	JENBACHER	620	2.388	39,1
28	MCI	JENBACHER	612	1.432	38,5
29	MCI	JENBACHER	616	1.914	38,6
30	MCI	JENBACHER	620	2.388	38,5
31	MCI	MTU		120	35,9
32	MCI	MTU		150	37,3
35	MCI	MTU		350	34,9
42	MCI	CATERPILLAR		460	31,6
43	MCI	CATERPILLAR		770	31,6
44	MCI	CATERPILLAR		1.030	31,8
45	MCI	CATERPILLAR		1.100	36,7
46	MCI	MAN ENGINES		116	32,4
47	MCI	MAN ENGINES		181	35,7
48	MCI	MAN ENGINES		342	37,1
49	MCI	CPL		33	28,3
50	MCI	CPL		33	28,3
51	MCI	CPL		35	30,4
52	MCI	CPL		35	30,4
53	MCI	CPL		60	29,6

Tabella 2.114 – Caratteristiche dei cogeneratori



IDCogeneratore	Rend.Termico %	RendimentoTotale %	PotenzaTermica kWt	NOX mmg/Nm <sup>3</sup>
1	46,3	85,4	295	500
2	47	85,7	400	500
3	42,3	785	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	
35	52,2	90	523	
42	52,4	84,0	764	
43	53,2	84,8	1.296	
44	42,5	74,3	1.378	
45	45,7	82,4	1.371	
46	52	84,4	186	
47	49,5	85,2	251	
48	46,6	83,7	430	
49	62,3	90,6	66	
50	62,3	90,6	66	
51	59,1	89,5	68	
52	59,1	89,5	68	
53	60,5	90,1	123	

**Tabella 2.2 – Caratteristiche dei cogeneratori**

IDCogeneratore	Tipo	Marca	Modello Codice	PotenzaElettrica kWel	Rend. Elettrico %
54	MCI	CPL		60	29,6
55	MCI	CPL		80	32,5
56	MCI	CPL		80	32,5
57	MCI	CPL		90	30,6
58	MCI	CPL		100	30,6
59	MCI	CPL		103	37,6
60	MCI	CPL		122	35,7
61	MCI	CPL		125	32,7
62	MCI	CPL		125	32,7
63	MCI	CPL		172	37,8
64	MCI	CPL		172	38,2
65	MCI	CPL		190	38,5
66	MCI	CPL		237	37,7
67	MCI	CPL		250	38,1
68	MCI	CPL		308	36,1
69	MCI	CPL		365	37,4
70	MCI	CPL		247	35,04
71	MCI	CPL		328	34,71
72	MCI	CPL		494	34,79
73	MCI	CPL		656	34,8
74	MCI	CPL		294	37,6
75	MCI	CPL		511	37,66
76	MCI	CPL		601	38,92
77	MCI	CPL		802	38,97
78	MCI	CPL		1.064	39,84
79	MCI	CPL		1.416	41,09
80	MCI	CPL		1.822	42,2
81	MCI	CPL		2.430	41,97
82	MCI	CPL		3.047	42,63
83	MCI	AB		125	34,5
84	MCI	AB		245	36,1
85	MCI	AB		330	38,7
86	MCI	AB		526	40,4
87	MCI	AB		625	39,8
88	MCI	AB		835	40
89	MCI	AB		1.064	40,8
90	MCI	AB		1.244	41,6
91	MCI	AB		1.415	42,1
102	MCFC	MTU	HM208B	208	47
103	MCFC	MTU	HM346B	346	47
104	TAG	TURBEC		100	33
105	TAG	CAPSTONE		60	28
106	TAG	CAPSTONE		200	33
107	SOFC	Siemens Power Generation	SFC200	125	45

**Tabella 2.3 – Caratteristiche dei cogeneratori**

IDCogeneratore	Rend.Termico %	RendimentoTotale %	PotenzaTermica kWt	NOX mmg/Nm <sup>3</sup>
54	60,5	90,1	123	
55	57,3	89,8	141	
56	57,3	89,8	141	
57	59,2	89,8	174	
58	59,2	89,8	174	
59	48,2	85,8	132	
60	52	87,7	178	
61	56,6	89,3	216	
62	56,6	89,3	216	
63	50,4	88,2	227	
64	50,5	88,7	227	
65	46,3	84,8	228	
66	52,6	90,3	330	
67	49,6	87,7	326	
68	53,9	90	460	
69	53,4	90,8	521	
70	53,9	88,94	380	
71	54,4	89,1	514	
72	54,7	89,51	777	
73	54,6	89,39	1.029	
74	50,8	88,36	397	
75	48,7	86,37	661	
76	47,4	86,33	732	
77	47,4	86,35	975	
78	46,7	86,56	1.248	
79	46,4	87,49	1.599	
80	44,4	86,61	1.918	
81	44,8	86,77	2.594	
82	44,4	87,02	3.173	
83	49,2	83,7	178	
84	50,1	86,2	340	
85	46,2	84,9	394	
86	41,4	81,8	539	
87	42,7	82,5	660	
88	42,2	82,2	895	
89	40	80,8	1.044	
90	41,4	83	1.239	
91	40,7	82,8	1.367	
102	32	90	142	
103	31,8	90	234	
104	47	95	167	
105	49	77	107	
106	40	95	245	
107	35	80	100	

**Tabella 2.4 – Caratteristiche dei cogeneratori**

### 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 <sup>2</sup>
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
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
COSTOSP	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 <sup>2</sup>
EURIBOR	Tasso EURIBOR	3	%
FATTCONVKWMJ	Fattore di conversione (kW-MJ)	3,6	Scalare
FRANCOSICUR	Franco di sicurezza (per dimensionare il digestore)	1,2	scalare
FUMMCFC	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 <sub>2</sub> eq
HMAXVAL	Altezza max digestore CSTR	8	m
HMINVAL	Altezza min digestore CSTR	4	m
KGCO2MWHE	Kg diCO <sub>2</sub> risparmiata a MW <sub>hel</sub>	531	kg CO <sub>2</sub> /MW <sub>hel</sub>
KGCO2MWHT	Kg diCO <sub>2</sub> risparmiata a MW <sub>ht</sub>	310	kg CO <sub>2</sub> /MW <sub>ht</sub>
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	%
MANUTMCFCS	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 <sup>3</sup>
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
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 <sub>2</sub> risparmiata per Tep	2,8	TCO <sub>2</sub> /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
VENDITAEESZCV	Prezzo Vendita Energia Elettrica senza Certificati Verdi	0,06621	€/kWhel
VENDITAET	Prezzo Vendita Energia Termica	0,077	€/kWh <sub>t</sub>
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**



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



*Ministero dello Sviluppo Economico*

## RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Sviluppo di un modello di calcolo per la valorizzazione energetica  
delle biomasse prodotte dalle diverse filiere "Waste to Energy"

Parte 2 – Aspetti tecnici e tecnologici della digestione anaerobica

*F. Reale, M. Sarnataro, S. Scarfogliero, G. F. Iuliano, A. Buonomano*



*Università degli Studi di Napoli Federico II*

SVILUPPO DI UN MODELLO DI CALCOLO PER LA VALORIZZAZIONE ENERGETICA DELLE BIOMASSE PRODOTTE DALLE DIVERSE FILIERE "WASTE TO ENERGY"

PARTE 2 – ASPETTI TECNICI E TECNOLOGICI DELLA DIGESTIONE ANAEROBICA

Autori: F. Reale<sup>1</sup>, M. Sarnataro<sup>1</sup>, S. Scarfogliero<sup>1</sup>, G. F. Iuliano<sup>1</sup>, A. Buonomano<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup> Dipartimento DETEC dell'Università Federico II di Napoli)

Settembre 2010

Report Ricerca Di Sistema elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Produzione e fonti energetiche

Tema: Sviluppo di un modello di calcolo per lo studio di scenari energetici basati sull'impiego delle celle a combustibile a carbonati fusi con biogas prodotto da diverse tipologie di biomasse e/o rifiuti.

Responsabile Tema: Angelo Moreno, ENEA

I dati e i parametri elaborati dal modello di calcolo fanno riferimento al Rapporto Finale elaborato nell'anno 2009, relativo all' Accordo di Programma MSE-ENEA sul Tema di ricerca 5.2.5.11 "Celle a combustibile per applicazioni stazionarie cogenerative".

Le documentazioni a riguardo sono:

- Censimento potenziale energetico biomasse, metodo indagine, atlante Biomasse su WEB-GIS. (Autori: V. Motola, N. Colonna, V. Alfano, M. Gaeta, S. Sasso, V. De Luca, C. De Angelis, A. Soda, G. Braccio)
- Analisi e stima quantitativa della potenzialità di produzione energetica da biomassa digeribile a livello regionale. Studio e sviluppo di un modello per unità energetiche Parte 1 – Metodologia. (Autori: F. Reale, R. Stolica, M. Gaeta, M. Ferri, M. Sarnataro, V. Vitale);
- Analisi e stima quantitativa della potenzialità di produzione energetica da biomassa digeribile a livello regionale. Studio e sviluppo di un modello per unità energetiche Parte 4 - Studio di un modello energetico. (Autori: F. Reale, R. Stolica, M. Gaeta, M. Ferri, M. Sarnataro, V. Vitale)

Si ringrazia, inoltre:

- l'Ing. Viviana Cigolotti di ENEA - UTTP CHIA, per la preziosa collaborazione e per il supporto tecnico fornito in ciascuna fase decisionale;
- la LELIG company (di Raffaele Liguoro), per aver messo a servizio del presente studio le proprie competenze informatiche.

Il lavoro è stato realizzato con la supervisione dell'Ing. Angelo Moreno di ENEA - UTRINN, referente del tema di ricerca di sistema 5.2.5.11 "Celle a combustibile per applicazioni stazionarie cogenerative"



## Sommario

PREMESSA .....	1
TECNOLOGIA DELLA DIGESTIONE ANAEROBICA .....	2
Substrati organici avviabili al digestore .....	3
Idoneità dei substrati alla Digestione Anaerobica .....	4
Cenni alle tecniche di trasformazione delle biomasse .....	14
Vantaggi della codigestione .....	16
Parametri di stabilità del processo .....	17
Parametri di gestione del reattore .....	21
Tecniche di digestione anaerobica .....	24
ASPETTI TECNICI DI UN IMPIANTO DI DIGESTIONE ANAEROBICA .....	36
Soluzione costruttiva .....	36
Soluzione con getto di calcestruzzo in opera. ....	38
Soluzione con manufatti prefabbricati. ....	38
Soluzione in acciaio .....	38
Caricamento .....	39
Sistemi di agitazione per l'omogeneizzazione del substrato .....	41
Coibentazione .....	44
Riscaldamento .....	45
Cenni sul Trattamento del biogas .....	46
Il gasometro .....	47
Gli accumulatori presso statici .....	48
Esempi di applicazioni impiantistiche .....	50
TECNOLOGIA DI CONVERSIONE ENERGETICA DEL BIOGAS .....	66
Motori .....	69
La Turbina a Gas .....	72
MCFC Celle a carbonati fusi .....	74
SOFC .....	79
RIFERIMENTI NORMATIVI PER UN IMPIANTO DI DIGESTIONE ANAEROBICA .....	81
Procedure autorizzative .....	86
CELLE A COMBUSTIBILE: PROSPETTIVE PER IL FUTURO? .....	88
BIBLIOGRAFIA .....	90

## *Analisi di Impianti di Digestione Anaerobica*

### *Parte 2 – Aspetti tecnici e tecnologici della digestione anaerobica*

#### **PREMESSA**

L'interesse che negli ultimi anni si è riaperto sul processo anaerobico grazie all'attuale politica di incentivazione sul recupero energetico del biogas ha portato al continuo miglioramento della tecnologia e sempre più numerosi studi di settore tesi ad ottimizzare le rese di processo.

L'A.I.D.A., modello di calcolo che propone studi di convenienza economica per la realizzazione di un impianto a biogas, nasce dunque come risultato di una preliminare ricerca nel campo del trattamento anaerobico delle biomasse fermentescibili mirata inizialmente a individuare i parametri di gestione vincolanti per un corretto funzionamento dell'impianto, i fattori ambientali che ne possono influenzare le rese e infine un'attenta analisi sulle migliori tecnologie disponibili oggi presenti sul mercato.

Allo scopo di schematizzare un processo biologico nei rigidi canoni di un modello matematico da applicare nel modello di calcolo, è stato necessario un attento studio per individuare le variabili fondamentali in gioco e per universalizzare il sistema in funzione delle diverse esigenze.

Questo allegato si pone nell'ottica di documentare la base teorica di supporto per A.I.D.A., di fornire approfondimenti sulle scelte progettuali del servizio fornendo anche esempi pratici di impianti esistenti, che, con i loro accorgimenti tecnici sono stati importanti spunti di riflessione per i miglioramenti in corso d'opera.

La prima parte propone una descrizione di tutte le matrici avviabili al processo di digestione anaerobica, fornendo indicazioni sulle loro caratteristiche in termini di resa energetica e sul miglioramento della loro conversione in biogas nell'ottica della codigestione; questa fase è stata di supporto all'elaborazione del *Passo 1* dell'A.I.D.A.

Fa seguito una descrizione delle varie tecniche di digestione anaerobica, i parametri di stabilità dei processi e i parametri di gestione del sistema, utili all'implementazione del *Passo 2* dell'A.I.D.A.

La seconda parte dell'elaborato fornisce una visione completa sul Know how tecnologico, in particolare su aspetti pratici e costruttivi della sezione di fermentazione anaerobica, accompagnati da cenni sulle tecnologie di accumulo, recupero e trattamento biogas (oggetto del *Passo 3* dell'A.I.D.A.). A tal proposito si ritiene opportuno ribadire la

possibilità di approfondire tale aspetto, così come previsto dagli sviluppi futuri del servizio web.

La terza parte illustra le tecnologie di conversione energetica utilizzate nel modello di calcolo (*Passo 4*), tra cui il motore a combustione interna, la turbina a gas, le celle a combustibile a carbonati fusi e le celle a combustibile a ossidi solidi (di cui è fornito solo un accenno).

Infine sono stati considerati i principali aspetti normativi legati alla filiera della digestione anaerobica, fase fondamentale che gestisce la soglia di convenienza economica di un investimento. Sono stati indicati i documenti legislativi che regolano la produzione e l'utilizzo di biogas a fini energetici. Il discorso è complesso ed è attualmente uno dei principali problemi del settore, soprattutto per la continua evoluzione della normativa,

### **TECNOLOGIA DELLA DIGESTIONE ANAEROBICA**

La biomassa utilizzabile ai fini energetici consiste in tutti quei materiali organici che possono essere utilizzati direttamente come combustibili, ovvero trasformati in combustibili solidi, liquidi o gassosi. Le matrici più efficaci ed efficienti da un punto di vista biochimico ed economico si dividono in sei grandi famiglie:

- i sottoprodotti delle produzioni erbacee, arboree e delle prime lavorazioni agroindustriali;
- i sottoprodotti delle operazioni forestali, per il governo dei boschi e per la produzione di legname da opera, e delle prime lavorazioni del legno o altro (residui dei tagli dell'erba, delle foglie, etc.);
- le colture (arboree ed erbacee) destinate specificatamente alla produzione di biocarburanti e biocombustibili;
- i reflui zootecnici destinati alla produzione di biogas;
- la parte organica dei rifiuti urbani;
- i residui inutilizzabili di produzioni destinate all'alimentazione umana o animale (pule dei cereali, canna da zucchero ecc).

A causa della grande varietà delle biomasse (cui corrisponde la varietà delle caratteristiche chimico-fisiche), non esiste un'unica tecnologia per trasformare l'energia contenuta in energia utilizzabile. Nel seguito di questo capitolo, si cerca quindi di descrivere le biomasse, le loro caratteristiche e i metodi di utilizzo in un quadro generale.

## Substrati organici avviabili al digestore

Qualsiasi materia organica costituita da carbonio, azoto, fosforo ed acqua può costituire il substrato di una digestione anaerobica.

Nell'ambito di tali processi il substrato è generalmente identificato dalla quantità di composti biodegradabili presenti, in termini di solidi totali (ST), di solidi totali volatili (SV), di domanda chimica di ossigeno (COD), o di domanda biologica di ossigeno (BOD<sub>5</sub>). Si riportano di seguito gli elementi essenziali di definizione di queste grandezze:

- **ST**: *solidi totali*, ossia il contenuto in sostanza secca di un campione, determinato per essiccamento in stufa a 105°C per 24 ore. Questi rappresentano, in prima approssimazione, la somma della frazione organica e di quella inerte del substrato.
- **SV**: *solidi totali volatili*, cioè la frazione di sostanza secca che risulta volatilizzata per combustione a 550°C fino a peso costante. Questi rappresentano, in prima approssimazione la frazione organica della sostanza secca, calcolata come differenza dei valori di ST e TFS (solidi totali fissi) che rappresentano la frazione inerte, costituita per lo più, da composti inorganici, misurata per pesata dopo il trattamento a 550°C.
- **COD**: domanda chimica di ossigeno. Quantità di ossigeno consumato per l'ossidazione della sostanza organica, determinata attraverso l'utilizzo di un forte agente chimico ossidante (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) in ambiente acido.
- **BOD<sub>5</sub>**: quantità di ossigeno consumata in 5 giorni, in condizioni controllate, per l'ossidazione biologica della sostanza organica presente nel campione.
- **BOD<sub>L</sub>**: (B<sub>0</sub>) domanda biologica di ossigeno a 20 giorni.

La validità energetica della biomassa si può vedere dalla capacità di produrre metano e dalla quota di metano nel biogas. Il primo parametro si misura con il B<sub>0</sub>, cioè del fattore di trasformazione in metano a tempo infinito.

**Tabella 1** – Produzione specifica di metano per matrice.

MATRICE	B <sub>0</sub> (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /KgSV)	CH <sub>4</sub> /Biogas (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / m <sup>3</sup> Biogas)
FORSU	0,37-0,45	0,6-0,70
ACQUE REFLUE	0,12-0,20	0,45-0,5
BOVINI	0,304	0,57
SUINI	0,35-0,48	0,68
AVICOLO	0,35-0,40	0,62
OVICAPRINI	0,45	0,7
COLTURE AGRICOLE	0,28-0,41	0,50-0,55

RESIDUI AGROINDUSTRIALI	0,35-0,5	0,6-0,75
-------------------------	----------	----------

Fonte: [www.syngen.it](http://www.syngen.it) [1]

La degradazione massima possibile con tempi di residenza limitati dalla volumetria del reattore è del 70%-90% della matrice organica.

Operativamente si hanno poi rese ancora minori per diverse cause:

- temperature troppo basse
- tempi di ritenzione ridotti
- carico di materia organica troppo elevati
- idrodinamica inefficiente (zone morte o bypass)
- presenza di sostanze inibenti o tossiche

Il rendimento in biogas, espresso in termini di  $m^3/kgSV$ , è quindi molto variabile, ma un'indicazione per tipologia di processo e di regime termico è la seguente:

**Tabella 2** - Rendimento in biogas in funzione del regime termico

	Mesofilia			Termofilia		
	Processo			Processo		
	Umido	Semi- secco	Secco	Umido	Semi- secco	Secco
Rendimento in biogas ( $m^3/Kg SV$ )	0.65-0.85	0.60-0.80	0.50-0.70	0.60-0.85	0.60-0.80	0.50-0.70

Fonte: Rielaborazioni dati Syngen [1]

### Idoneità dei substrati alla Digestione Anaerobica

#### **EFFLUENTI ZOOTECCNICI**

Gli effluenti zootecnici possiedono un'ottima propensione tecnica alla digestione anaerobica purché non siano eccessivamente diluiti (cosa che accade maggiormente per gli effluenti suini), in quanto ben dotati di sostanza organica, godono di una produzione regolare e continuativa, di buon potere tampone e sono privi di frazioni "inerti" non desiderate. Tale tecnica, inoltre, contribuisce alla riduzione significativa delle emissioni di odori dallo stoccaggio del digestato.

La quantità e la qualità delle deiezioni prodotte dipendono [2]:

- dalla specie;
- dal peso vivo medio di ciascuna categoria della stessa specie;
- dal numero di animali presenti in azienda;
- dal tipo di alimentazione;
- dallo stadio di accrescimento;

- dalla soluzione stabulativa adottata [3].

In particolare lo stadio di accrescimento e la tecnica di stabulazione giocano un ruolo importante nella definizione dei volumi e delle caratteristiche di concentrazione di sostanza secca e organica. Come primo approccio per la quantificazione delle produzioni il criterio di calcolo di base non terrà conto di questi ultimi due aspetti. La rinuncia è stata dettata dalla difficoltà di estendere tale indagine su una così ampia scala di dettaglio. Inoltre si rendono necessarie ulteriori indagini che forniscano maggior validità ai risultati attesi<sup>1</sup>.

Gli effluenti zootecnici quindi, sono caratterizzati da un contenuto di sostanza secca e di sostanza organica estremamente variabile in funzione di una serie di fattori.

Allo scopo di fornire parametri utili alla valorizzazione dei reflui zootecnici in termini di biogas prodotto, si è scelto di far riferimento a valori medi di sostanza secca (ST) e sostanza organica (SV) (Tabella 3), fermo restando che l'indagine relativa alle differenti tipologie di allevamento (Tabella 4, Tabella 5), mette in evidenza l'importanza che riveste un'attenta gestione delle deiezioni.

**Tabella 3** – Parametri caratteristici medi del settore zootecnico

SETTORE	Deiezioni solide		Deiezioni liquide	
	ST(%)	SV/ST(%)	ST(%)	SV/ST(%)
<b>Bovino-Bufalino</b>	18	75	8,5	76,5
<b>Suinicolo</b>	22,5	82,5	6,1	78
<b>Avicolo</b>	32,3	75	19	76
<b>Ovi-Caprino</b>	27,5	80	*	*

Fonte: Dati elaborati dall'Atlante Italiano delle Biomasse [4]

**Tabella 4** - Percentuali di sostanza secca e volatile in funzione della tecnica di stabulazione [5]: settore suinicolo

		Tipo di stabulazione - Settore suinicolo	TSv (%)	SV/ST (%)
Dieta umida	Ingrasso	Defecazione esterna scoperta e tracimazione	1%	60%
		Defecazione esterna coperta su fessurato	6%	73%
		Defecazione interna su fessurato	2%	63,6%
	Ciclo chiuso	50% su fessurato e 50% con tracimazione	1%	70%
	Riproduzione	Pulizia ad acqua e tracimazione	1%	60%
Dieta secca	Ingrasso	Defecazione esterna scoperta e tracimazione	1%	70%
		Defecazione esterna coperta su fessurato	13%	73%
		Defecazione interna su fessurato	4%	63,6%

<sup>1</sup> Per maggiori approfondimenti si rimanda al paragrafo degli "Sviluppi Futuri del Software A.I.D.A.". In particolare si prende nota delle "norme tecniche per l'applicazione a livello nazionale dell'ex art. 38 del Dlgs 152/99, ora Dlgs 152/2006", a cui si rimanda.

Ciclo chiuso	50% su fessurato e 50% con tracicimazione	2%	63,6%
Riproduzione	Pulizia ad acqua e tracicimazione	1%	60%

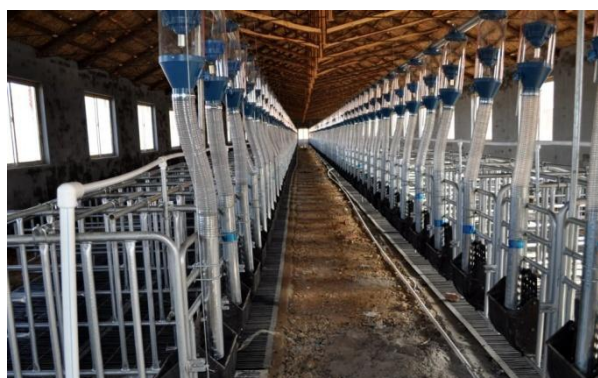
Fonte: Rielaborazioni dati Syngen [1]

**Tabella 5** - Percentuali di sostanza secca e volatile in funzione della tecnica di stabulazione: settore bovino

	Tipo di stabulazione - Settore bovino	TS (%)	SV/ST (%)
Stabulazione FISSA da latte	con lettiera ed asportazione manuale	18%	66,7%
	senza lettiera con asportazione meccanica	15%	73%
Stabulazione LIBERA da latte	con lettiera	30%	56,7%
	paddock	19%	84,2%
	cucette	7%	71,4%
	grigliato	8%	75%
	flushing	7%	71%
	ruspetta	12%	75%
Stabulazione FISSA da carne	con lettiera	22%	77%
	grigliato	12%	83%

Fonte: Rielaborazioni dati Syngen[1]

Foto relativa ed esempi di tipologie di stabulazione per il settore bovino e suino



Le deiezioni bovine sono spesso rimosse dalle stalle utilizzando raschiatori. Inoltre l'aggiunta di paglia, spesso effettuata nelle stalle, conduce a variazioni nel contenuto di solidi totali (8-15%). L'effetto di diluizione è minimo rispetto a quello che si ha con le

deiezioni suine anche a causa del fatto che normalmente le zone calpestate dal bestiame vengono pulite e risciacquate con basse quantità di acqua.

Per quanto riguarda il settore avicolo, la pollina che più si presta alla digestione anaerobica, grazie all'assenza di lettiera, è quella delle galline ovaiole che sono solitamente allevate in gabbia in allevamenti che arrivano a contenere fino a diverse centinaia di migliaia di capi. Le deiezioni asportate fresche con i nastri sono caratterizzate da un alto contenuto in solidi totali (minimo 18-20%) e da alte concentrazioni di azoto ammoniacale. L'alto contenuto di ammoniaca può condurre a effetti inibitori durante la digestione e causare alte emissioni ammoniacali durante il successivo stoccaggio del digestato. Le deiezioni avicole presentano spesso anche un forte contenuto di inerti che sedimentando sul fondo, vanno a formare uno strato che causa frequenti problemi operativi e riduce il volume utile dei reattori.

Foto relativa ed esempi di tipologie di stabulazione per il settore avicolo



Per il calcolo della produzione delle deiezioni zootecniche si è fatto riferimento a valori tipici espressi in funzione del peso vivo:

Tabella 6 – Parametri per il calcolo delle deiezioni zootecniche.

	Classe di capi	Peso vivo (kg)			Deiezioni	
		min	medio	max	Solide	Liquide
					(kg/100kg p.v. giorno)	(litri/100kg p.v. giorno)
Settore bovino	Bovino 0-12 mesi	100	200	300	0,66	5,3
	Bovino 12-24 mesi	300	400	500	0,82	6,8
	Bovino oltre 24 mesi	500	650	800	1,05	8,2
ore buf alim	Bufalino 0-12 mesi	500	650	800	0,74	5,6



	Bufalino 12-24 mesi	100	300	500	0,74	5,6
	Bufalino oltre 24 mesi	500	650	800	1,05	8,2
Settore suinicolo	Scrofa	120	110	100	0,53	12,5
	Grasso	90	125	160	0,44	11
	Scrofetta	90	125	160	0,44	11
	Verro	120	160	200	0,53	8
	Lattonzolo	7	16	25	0,73	2,5
	Cinghiale	120	160	200	0,53	8
	Magroncello	25	38	50	0,35	7
	Magrone	90	125	160	0,44	11
Settore avicolo	Pollo da carne	0,8	1	1,2	5,5	5,5
	Gallina ovaioia	1,5	1,75	2,0	6	6
	Tacchino da carne	4	7	10	4,4	4,4
Settore ovi-caprino	Coniglio	1,2	2,1	3,0	5,5	5,5
	Ovino	10	40	70	0,67	2
	Caprino	10	40	70	0,67	2

Fonte: Rielaborazione dati ISTAT [6]

## **RESIDUI AGROINDUSTRIALI VEGETALI**

L'industria agroalimentare produce ingenti quantità di reflui e scarti derivanti dalla lavorazione delle materie prime, che possono essere avviate alla digestione anaerobica: siero di latte, reflui liquidi di lavorazione dei succhi di frutta o di distillazione dell'alcool, scarti organici liquidi e/o semisolidi della macellazione (grassi, sangue, contenuto stomacale, budella ...), buccette di pomodoro, scarti di lavorazione delle patate, cipolle, mais, ecc. Tali residui o scarti sono classificabili come "sottoprodotti" ai sensi dell'art. 183, comma 1, lettera n) del Dlgs 152/06 e del Dlgs n. 4/08. La nuova definizione di "sottoprodotto" consente di sottrarre flussi qualitativamente validi per la digestione anaerobica dal contesto normativo dei "rifiuti". Gli scarti e i residui avviati ad un altro ciclo produttivo (produzione del prodotto metano) per poter essere classificati sottoprodotto anziché rifiuto devono però rispettare tutto quanto di seguito enunciato:

- devono essere generati da un processo produttivo, pur non essendone l'oggetto principale;
- l'impiego in altro processo produttivo deve essere certo sin dalla fase della sua produzione e integrale,
- il processo in cui lo scarto è reimpiegato deve essere preventivamente individuato e definito;

- il sottoprodotto deve avere caratteristiche merceologiche e di qualità ambientale tali da garantire che il suo uso non generi un impatto ambientale qualitativo e quantitativo diverso da quello ammesso e autorizzato nell'impianto di destinazione;
- le caratteristiche di compatibilità ambientale di cui sopra devono essere possedute dal sottoprodotto sin dal momento della sua produzione;
- non sono consentiti trattamenti o trasformazioni preliminari al loro reimpiego a tale scopo;
- il sottoprodotto deve avere un valore economico di mercato.

Tali sottoprodotti possono in genere essere acquistati dall'impianto di biogas ad un prezzo contenuto e variabile fra 5 e 15 €/t; in altri casi invece i produttori possono anche pagare una tariffa minima in ingresso (0-15 €/t).

Questo è un settore che offre una ottima resa in termini di trattamento mediante la digestione anaerobica, ma bisogna comunque tener conto delle varie problematiche a contorno che influenzano la fase di gestione di questi scarti. La "stagionalità", ad esempio, che riduce la disponibilità di tale biomassa ad alcuni mesi l'anno, rendendo necessaria un'operazione di insilamento per la conservazione, mentre la "produzione locale" di alcuni prodotti limita l'uso degli scarti solo in determinate regioni, o comunque ne obbliga al trasporto con l'aggravio dei costi relativi.

**Tabella 7** - Valori caratteristici per alcuni degli scarti dell'agro-industria.

	ST/tal quale (%)	SV/ST (%)
Bucchette di pomodori	25	95
Scarti di frantoio	95	90
Siero	5	85
Scarti macellazione	15	90
Melasso	80	95

Fonte: Dati elaborati dall'Atlante Italiano delle Biomasse

## **FRAZIONE ORGANICA DEI RIFIUTI SOLIDI URBANI**

Nei rifiuti urbani domestici la percentuale di frazione organica umida è compresa in genere tra il 25 e il 35% in peso. La composizione media di questa frazione se derivante da raccolta differenziata secco-umido non differisce in modo sostanziale dall'organico raccogliabile da utenze selezionate, quali mercati all'ingrosso dell'ortofrutta e dei fiori, mercati ittici e rionali, esercizi commerciali di generi alimentari, punti di ristoro (pizzerie, ristoranti, ristorazione collettiva); la presenza di piccole quantità di plastica e vetro è in

genere inferiore al 5% sul totale. Queste frazioni organiche presentano un elevato grado di putrescibilità ed umidità (> 65%) che le rendono adatte alla digestione anaerobica.

In particolare tale matrice (FORSU da RD) mostra notevoli vantaggi se utilizzata in codigestione con i fanghi di supero provenienti dagli impianti di depurazione delle acque reflue urbane.

**Tabella 8** - Valori caratteristici per la frazione organica dei rifiuti da raccolta differenziata.

	ST/tal quale (%)	SV/ST (%)
FORSU da raccolta differenziata	15	85

Fonte: Dati elaborati dall'Atlante Italiano delle Biomasse

## **FANGHI PRODOTTI DA IMIANTI DI DEPURAZIONE DELLE ACQUE REFLUE URBANE**

Sono il residuo del processo di depurazione delle acque reflue civili e industriali. Sono costituiti da biomassa batterica e da sostanza inerte, organica ed inorganica. In generale gli obiettivi della digestione anaerobica dei fanghi di depurazione sono:

- la stabilizzazione della sostanza organica;
- la distruzione degli eventuali microrganismi patogeni;

con lo scopo di rendere il residuo consono alle prerogative di legge in tema di smaltimento finale. Ma in concomitanza a tale obiettivo, la digestione anaerobica dei fanghi di supero prodotti dalla depurazione della acque reflue urbane, comporta anche la possibilità di recuperare energia mediante la produzione di biogas, fonte rinnovabile di energia.

**Tabella 9** - Valori caratteristici per le acque reflue.

	ST/tal quale (%)	SV/ST (%)
Acque reflui civili	5	70

Fonte: Dati elaborati dall'Atlante Italiano delle Biomasse

## **COLTURE NON ALIMENTARI AD USO ENERGETICO**

La coltivazione di piante specifiche da avviare alla digestione anaerobica per la produzione di biogas può essere, in Europa, una soluzione per ridurre la sovrapproduzione agricola, ma anche una valida alternativa per l'utilizzo di aree incolte e a riposo (set aside) o di aree irrigate con acque recuperate dai depuratori urbani. Lo sviluppo della filiera relativa alle colture energetiche non nasce quindi per sottrarre la produzione alla catena alimentare, bensì come un'opportunità per il recupero del territorio.

Nel corso degli ultimi anni molti studi sono stati effettuati su mais, sorgo, foraggi (ma anche altre colture hanno dimostrato di possedere un buon potenziale di produzione di biogas) per valutarne le caratteristiche ai fini del loro utilizzo energetico e la resa in biogas. Anche le tecnologie impiantistiche attualmente in via di sviluppo sono orientate all'introduzione di tali substrati, sia liquidi che solidi, nel digestore.

L'uso delle colture energetiche come co-substrato, infatti, permette di ottimizzare la produzione di biogas e il riciclo dei nutrienti. Questo perché possono essere prodotte in azienda ed essere addizionate come co-substrati agli effluenti zootecnici direttamente o dopo insilamento e il digestato ottenuto a seguito del trattamento anaerobico può essere utilizzato per fertilizzare le aree agricole in cui le stesse vengono coltivate.

**Tabella 10** - Valori caratteristici per le colture energetiche

	ST/tal quale (%)	SV/ST (%)
Insilato di mais	35	85
Insilato di sorgo zuccherino	30	90
Trifoglio	20	80
Insilato d'erba	54	82.5
Melasse	80	95

Fonte: Dati elaborati dall'Atlante Italiano delle Biomasse

## **RESIDUI VEGETALI**

Anche i residui provenienti dai raccolti agricoli possono essere utilizzati come matrici nella digestione anaerobica. In Germania, ad esempio, questi residui vengono addizionati come co-substrati alle deiezioni animali utilizzate come matrici primarie. Possibili matrici per la digestione anaerobica possono comprendere foraggi, frutta e vegetali di scarsa qualità, percolati da silos e paglia.

**Tabella 11** - Valori caratteristici per i residui vegetali-

	ST/tal quale (%)	SV/ST (%)
Stocchi di mais	80	70
Paglia	87.5	87
Colletti di barbabietola	15	80
Pianta di patate	25	79
Fieno	89.5	88

Barbabietola da zucchero	22.5	90
Bucchette e semi di pomodoro	25	95
Vinacce	47	82
Fogliame	85	82
Foglie di rapa	16.2	79

Fonte: Dati elaborati dall'Atlante Italiano delle Biomasse

L'impiego di queste matrici, oltre alla valutazione del costo iniziale, richiede anche di pianificare l'approvvigionamento con colture a largo spettro di maturazione in modo da ridurre i volumi stoccati contemporaneamente.

### **SCARTI AGROINDUSTRIALI**

L'agroindustria è un settore estremamente vario nel quale si producono moltissimi -scarti e reflui organici che possono essere destinati alla digestione anaerobica. Tra questi citiamo alcuni dei più utilizzati come, ad esempio, il siero di latte, contenente proteine e zuccheri, dall'industria casearia, i reflui dall'industria che processa succhi di frutta o che distilla alcol e gli scarti dell'industria olearia. Anche la resa in biogas è molto varia; alcuni tipi di sottoprodotto, se contengono proteine, grassi o amido, hanno una buona resa in biogas, altri invece, come il siero di latte, portano a produzioni di biogas molto modeste.

La reperibilità generale di queste biomasse è buona, ma risulta particolarmente vincolata alla vicinanza geografica dell'impianto ad una linea industriale che generi un sottoprodotto utilizzabile.

Spesso l'impiego di matrici a bassa produzione specifica di biogas (siero di latte o residui ortofrutticoli) è preferito in ragione della maggiore produzione. Anche il valore economico di questa tipologia di matrice è molto vario: ad esempio, alcuni scarti dell'agroindustria (scarti del pane o dei biscotti), essendo utilizzabili come mangimi nel settore zootecnico, possono diventare economicamente non sfruttabili. Particolare attenzione va rivolta alla fase di gestione di queste biomasse nell'ambito della digestione anaerobica; se utilizzate pure o miscelate in modo scorretto si possono presentare problemi al digestore. Ad esempio, il siero di latte può dare problemi di acidità; prodotti troppo zuccherini portano alla formazione di schiume.

Fanno parte di questa categoria gli scarti di macellazione come sangue, pelle, contenuti stomacali e ossa e tutti gli scarti dell'industria ittica.

Gli alti valori di resa che si ottengono rendono queste biomasse, generalmente ricche di proteine e grassi ad elevata digeribilità, utili matrici da inviare a digestione anaerobica. La

reperibilità di queste matrici è legate ad alcuni fattori, quali le ridotte quantità prodotte (rispetto ad uno scarto di origine vegetale) e la distanza relativa dall'impianto di utilizzazione. C'è, almeno in Italia, una forte competizione con altri settori per lo sfruttamento di alcune di queste matrici; tutte le fonti di proteine e grassi animali sono infatti ambiti dall'industria mangimistica, dalla ditte che producono concimi e cosmetici, limitandone così la convenienza economica.

Per questa tipologia di biomassa le problematiche maggiori si riscontrano nella lavorabilità e nella gestione; in proposito ricordiamo l'obbligo di costosi pretrattamenti come indicato nel Regolamento CE 1774/2002 "Norme sanitarie relative ai sottoprodotti di origine animale non destinati al consumo umano. Il grande contenuto proteico di questa tipologia di matrice potrebbe portare a dannosi accumuli di azoto nel digestore.

Riportiamo di seguito i parametri caratteristici di alcuni dei substrati presi in considerazione per le elaborazioni:

**Tabella 12** – Valori caratteristici degli Scarti agroindustriali

	ST/tal quale (%)	SV/ST (%)
Scarti di distillazione mele	3	95
Siero di latte	5.4	86
Scarti vegetali	12.5	83
Scarti di frumento	30	90
Pastazzo di agrumi	13	97
Lieviti birrerie	22	96
Scarti di frantoio	95	90
Scarti di patata	13.5	90
Fanghi di sangue	18	96
Farina di sangue	90	80
Scarti di macellazione	15	90
Scarti ortofrutticoli	15	76
Scarti panificio	80	97
Vinacce di mela	25	86
Trebbia di birra	18	80

Fonte: Dati elaborati dall'Atlante Italiano delle Biomasse

## Cenni alle tecniche di trasformazione delle biomasse

Allo stato naturale, o di tal quale (tq), la biomassa è costituita da una frazione umida e da una frazione secca (sostanza secca, SS), composta essenzialmente di fibra grezza. La scelta del processo di conversione energetica è legata quindi alle proprietà chimico-fisiche della biomassa, in particolare al rapporto  $C/N$ , tra il contenuto di carbonio ( $C$ ) e di azoto ( $N$ ), e della sua umidità. Schematicamente, per le conversioni di tipo termochimico (combustione e gassificazione), risultano adatte le biomasse che hanno le seguenti caratteristiche:

- un elevato rapporto tra il contenuto di carbonio e quello di azoto ( $C/N > 30$ );
- un ridotto contenuto di umidità ( $u < 30\div 50\%$  sul tq);
- un sufficiente potere calorifico inferiore ( $pci > 2400$  kcal/kg ss).

Per le conversioni di tipo termochimico risultano quindi idonee la legna e i suoi derivati (segatura, trucioli, ecc.), i più comuni sottoprodotti colturali di tipo ligneo-cellulosico (paglia di cereali, residui di potature, ecc.) e alcuni scarti di lavorazione (lolla, gusci, noccioli, ecc.).

Per le conversioni di tipo biochimico, sono adatte le biomasse che presentano le seguenti caratteristiche:

- un ridotto rapporto carbonio/azoto ( $C/N < 30$ );
- un elevato contenuto di umidità ( $u > 30\div 50\%$  sul tq).

Queste biomasse, con una frazione umida preponderante rispetto a quella secca, sono utilizzabili in processi come la digestione anaerobica per la produzione di biogas.

Le principali tecnologie attualmente disponibili vengono sinteticamente descritte di seguito.

### Digestione anaerobica

E' un processo di conversione di tipo biochimico che avviene in assenza di ossigeno e consiste nella demolizione, ad opera di micro-organismi, di sostanze organiche complesse (lipidi, protidi, glucidi) contenute nei vegetali e nei sottoprodotti di origine animale, che produce un gas (biogas) costituito abitualmente per il  $50\div 70\%$  circa da metano e per la restante parte da  $CO_2$  ed altri componenti. Il potere calorifico del gas ottenuto varia a seconda del contenuto di metano. Il biogas così prodotto viene trattato, accumulato e può essere utilizzato come combustibile per alimentare diverse tipologie di motori, compresi i motori in cogenerazione da cui è possibile trarre un duplice vantaggio nel recupero di energia elettrica e termica. Questa rappresenta la tecnologia presa in esame dal seguente

studio, prospettando, in seguito, di adattare lo strumento anche alla tecnica di gassificazione, più propriamente adatta a matrici con un basso contenuto di umidità.

#### Digestione aerobica

E' un processo di degradazione delle sostanze organiche per opera di micro-organismi, il cui sviluppo è condizionato dalla presenza di ossigeno. Questi batteri convertono sostanze complesse in altre più semplici, liberando CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O e producendo un elevato riscaldamento del substrato, in modo proporzionale alla loro attività metabolica.

#### Fermentazione alcolica

E' un processo di trasformazione dei glucidi contenuti nelle produzioni vegetali in etanolo, impiegato come carburante per autotrazione.

#### Estrazione di oli vegetali da piante oleaginose (soia, colza, girasole, ecc.)

In Europa, le principali piante oleaginose impiegabili per tale scopo sono la colza e il girasole. Gli oli da esse ricavati possono essere utilizzati come combustibili nello stato in cui vengono estratti oppure dopo esterificazione.

#### Combustione

Dal punto di vista termodinamico, la combustione è un processo di conversione dell'energia chimica del combustibile in calore.

Un'alternativa alla combustione è la co-combustione: la biomassa viene convertita in energia elettrica in centrali tradizionali alimentate con combustibile fossile (carbone), sostituendo una frazione di questo con biomassa (co-combustione).

L'energia termica recuperata viene poi utilizzata per riscaldamento oppure per generare elettricità grazie a cicli a gas o a vapore.

#### Gassificazione

La gassificazione è un processo chimico-fisico complesso mediante il quale si trasforma un combustibile solido (legno, scarti agricoli, rifiuti) in un combustibile gassoso. Il processo si realizza in 3 fasi:

- una prima fase di essiccazione in cui si ottiene la disidratazione del materiale;
- una seconda fase di pirolisi in cui si ottiene una parziale "distillazione" del legno;
- una terza fase di gassificazione in cui i prodotti della pirolisi reagiscono con l'agente gassificante dando origine a vari prodotti di cui alcuni compatibili.

Il processo consiste nell'ossidazione incompleta (a causa dell'assenza o della carenza di ossigeno), di una sostanza in ambiente ad elevata temperatura (900÷1.000°C). Il prodotto



risultante è un gas combustibile (detto gas di gasogeno o syngas) caratterizzato da un potere calorifico inferiore variabile (valori intermedi attorno a 10.000 kJ/Nm<sup>3</sup>).

I vantaggi della gassificazione rispetto alla più tradizionale combustione possono essere così riassunti:

- elevato rendimento di generazione elettrica, anche a piccola scala;
- buone prospettive di utilizzo in impianti di teleriscaldamento (central heating plant, anche combined heat and power generation CHP);
- emissioni e relative esternalità più contenute.

### Pirolisi

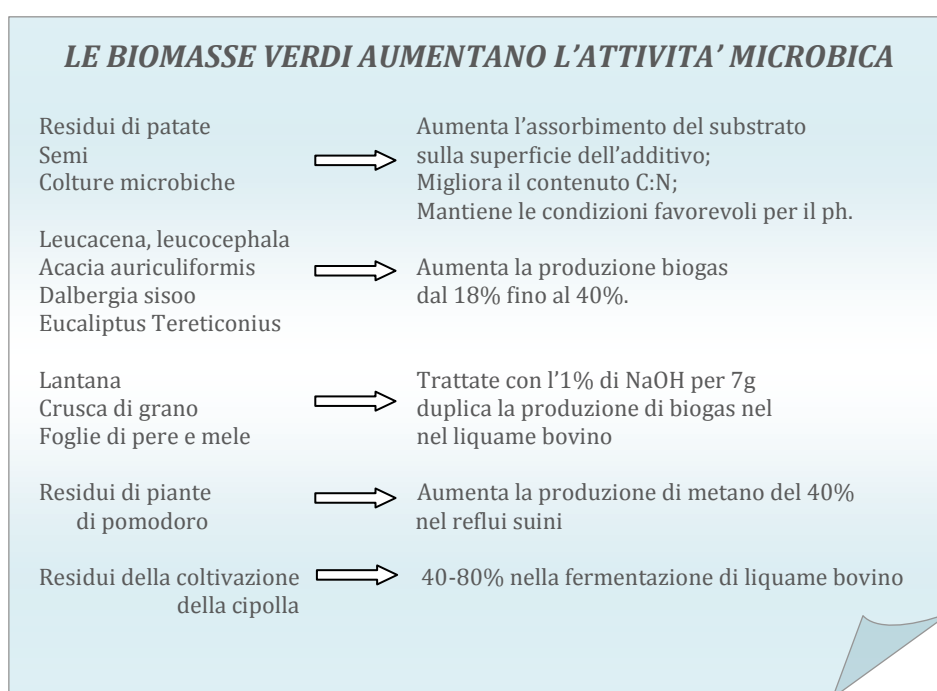
E' un processo di decomposizione termochimica di materiali organici, ottenuto fornendo calore, a temperature comprese tra 400 e 800°C, in forte carenza di ossigeno. I prodotti della pirolisi sono gassosi, liquidi e solidi, in proporzioni che dipendono dai metodi di pirolisi (pirolisi veloce, lenta, convenzionale) e dai parametri di reazione. Uno dei maggiori problemi legati alla produzione di energia basata sui prodotti della pirolisi è la qualità dei medesimi. Spesso, infatti, il livello di qualità non risulta essere sufficientemente adeguato per le applicazioni con turbine a gas e motori diesel.

Indicativamente, facendo riferimento alle taglie degli impianti si può affermare che i cicli combinati ad olio pirolitico appaiono i più promettenti soprattutto in impianti di grande taglia, mentre motori a ciclo diesel, alimentati con prodotti di pirolisi, sembrano più adatti ad impianti di piccola potenzialità.

### **Vantaggi della codigestione**

Le matrici attualmente più utilizzate nella codigestione di effluenti zootecnici sono i rifiuti organici agroindustriali e le colture energetiche. Gli scarti organici da utilizzare come co-substrati provengono dalle più svariate fonti e possiedono quindi forti differenze nella composizione chimica e nella biodegradabilità. Alcune sostanze (quali percolati, acque reflue, fanghi, oli, grassi e siero) sono facilmente degradabili mediante digestione anaerobica senza richiedere particolari pretrattamenti, 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 metaboliti inibitori del processo, quale ad esempio l'ammoniaca. Una vasta gamma di matrici richiede *step* vari di pre-trattamento: il rifiuto organico da raccolta differenziata, gli alimenti avanzati e/o scaduti, gli scarti mercatali, i residui agricoli, gli scarti di macellazione, ecc.

Inoltre le tecnologie attualmente in via di sviluppo riguardano in particolare proprio i sistemi di introduzione di tali substrati, sia liquidi che solidi, nel digestore. È stato infatti dimostrato che la produzione di biogas e il riciclo dei nutrienti possono essere ottimizzati quando le colture energetiche vengono utilizzate come co-substrato. Tali colture possono infatti crescere sulle aree di proprietà dell'azienda, essere addizionate come co-substrati agli effluenti zootecnici direttamente o dopo insilamento e il digestato ottenuto a seguito del trattamento anaerobico può essere infine utilizzato per fertilizzare le aree agricole in cui le stesse vengono coltivate. Vari tipi di colture dimostrano di possedere un buon potenziale di produzione di biogas. A titolo di esempio si riportano nello schema seguente alcuni risultati sperimentali:



Fonte: Dati sperimentali - Strategie per l'aumento della produzione di metano [8]

### Parametri di stabilità del processo

Negli impianti di trattamento basati su processi biologici, ogni fattore che può influenzare la crescita microbica si ripercuote sugli effetti di questa crescita e cioè sulla resa di degradazione della sostanza organica. A tal fine è importante conoscere quali sono le condizioni ambientali adatte ai microrganismi e anche quali possono essere i fattori che li influenzano negativamente. Tali fattori possono essere riassunti in: temperatura, pH, nutrienti, sostanze tossiche, umidità.

Naturalmente l'influenza di ogni singolo fattore contribuisce all'effetto globale, ma bisogna tener conto che al di là di certi limiti ammissibili le colture microbiche non sopravvivono.

Molto spesso gli effetti dei fenomeni ambientali che influiscono negativamente sulla crescita batterica si attenuano col tempo, a causa dell'adattamento e della predominanza di nuove specie batteriche sempre più selezionate dall'ambiente stesso. Questo aspetto riveste particolare importanza in fase di avvio di un nuovo impianto. Per raggiungere lo stato a regime è necessario attendere i tempi forniti dal calendario delle operazioni di acclimatazione durante le quali si opererà un aumento graduale del carico organico, riducendo prima al minimo ogni fattore negativo, cioè isolando e by-passando eventuali scarichi che possono notevolmente influire sul pH, tossicità ecc, per poi aumentare gradualmente la dose in un arco di tempo che può richiedere anche più di un mese.

Verranno ora presi in esame i singoli fattori ambientali per illustrarne gli effetti e delimitare i valori massimi, minimi e ottimali per la crescita batterica.

### **Influenza della temperatura**

L'attività enzimatica dei batteri è strettamente dipendente dalla temperatura:

- intorno ai 10°C questa attività risulta notevolmente rallentata;
- al di sopra dei 65°C gli enzimi vengono distrutti.

Esistono due intervalli di temperatura ottimali: il primo in fase mesofila (30 ÷ 40 °C con un optimum di 35°C) ed il secondo in fase termofila (50÷60°C con un optimum di 55°C). A queste temperature l'attività batterica è più intensa e dunque la medesima massa sarà digerita in tempi più brevi.

Con impiantistica di tipo semplificato è possibile operare anche in psicrofilia (10-25°C), con tempi di residenza superiori ai 30 giorni, fino ad un massimo di 90 giorni.

La scelta della temperatura di lavoro del digestore può essere effettuata come compromesso tra la produzione giornaliera di gas, il grado di fermentazione della materia prima e il tempo di ritenzione. Solitamente si opta per un rendimento di fermentazione del 50% ("digestione tecnica") per cui sarà sufficiente fissare il tempo di ritenzione per ricavare la temperatura o viceversa.

La stragrande maggioranza dei digestori lavora in campo mesofilo: si preferisce, infatti, operare con una temperatura relativamente bassa piuttosto che sperimentare un'alta

temperatura e non poterla mantenere poi per tutto il tempo occorrente alla fermentazione a causa degli oneri gestionali proibitivi.

Va notato, a tal proposito, che un cambiamento nella temperatura superiore ai 3÷5 °C giornalieri può essere fatale per i batteri metanigeni.

### **Influenza del pH**

Il pH indica se l'ambiente del digestore è favorevole alla reazione; per valori di pH compresi tra 6.5 e 7.5 il processo di digestione si definisce stabile.

Durante la fase acidogena i batteri producono acidi grassi che fanno diminuire la concentrazione del pH. Già al valore di pH=6,2 si assiste ad un'inibizione dei batteri metanogeni mentre gli acidogeni continuano a lavorare fino ad un pH di 4,5.

Bisogna quindi bloccare la produzione di acidi grassi in modo che il pH non scenda al di sotto di 6,2; questa operazione viene fatta con il controllo dell'alcalinità. L'alcalinità rappresenta la capacità di neutralizzare lo ione idrogeno ed è generalmente espressa come concentrazione di carbonato di calcio. Valori di alcalinità dell'ordine di 3000-5000 mg CaCO<sub>3</sub> per litro sono tipici per i digestori anaerobici operanti in condizioni stabili. Questo parametro è di fondamentale importanza nei processi anaerobici considerando che i tassi di crescita della biomassa metanigena sono estremamente ridotti.

Può capitare che in occasione di un incremento del carico organico le aumentate capacità idrolitiche ed acidificanti del sistema determinino uno sbilanciamento della popolazione batterica a favore della componente acidogena e quindi a sfavore della componente metanigena. Durante questa fase si osserva un aumento di concentrazione degli acidi grassi volatili e proprio allora la capacità tamponante del sistema deve essere in grado di neutralizzare l'abbassamento di pH.

Nel caso in cui l'acidità esaurisca l'effetto tampone del bicarbonato, l'ammoniaca originata dalla degradazione di proteine, sciogliendosi in acqua come idrato d'ammonio, riassorbe l'acido facendo ripartire la reazione.

La concentrazione degli acidi volatili, generalmente espresso in termini di acido acetico o di COD, dipende dal tipo di substrato trattato, e varia da circa 200 fino a 2000 mgAc/l.

La concentrazione degli acidi grassi volatili e l'alcalinità sono i due parametri che mostrano una più rapida variazione quando il sistema tende ad allontanarsi da condizioni di stabilità.

Dal momento che, in condizioni di instabilità, la concentrazione degli acidi grassi tende ad aumentare mentre l'alcalinità tende a diminuire, un utile parametro di controllo è fornito

dal rapporto tra queste due grandezze: valori del rapporto intorno a 0,3 indicano un digestore stabile, mentre valori superiori possono indicare l'insorgere di problemi di stabilità.

La variazione della composizione (almeno in termini di metano e biossido di carbonio) del biogas prodotto permette di monitorare la stabilità del processo di digestione anaerobica. Una diminuzione nella produzione complessiva di biogas ed un aumento nella percentuale di CO<sub>2</sub> indicano inibizione della componente metanigena dovuti all'eccessiva presenza di acidi grassi volatili.

### **Nutrienti**

Il mantenimento di una crescita biologica ottimale è necessario perché il processo di fermentazione avvenga in modo soddisfacente. Le condizioni ottimali esigono la presenza di oligoelementi quali calcio, magnesio, potassio, ferro, zinco nonché la disponibilità di corretti quantitativi di sostanze organiche a base di carbonio, azoto, fosforo, zolfo.

Il carbonio non è certo l'elemento limitante del processo, essendo il principale costituente della materia prima da stabilizzare. Gli enzimi extracellulari secreti dai microrganismi trasformano la cellulosa in glucosio solubile il quale viene poi assorbito dai microrganismi attraverso la membrana cellulare.

L'azoto serve ai batteri per formare le proteine. Il rapporto ottimale tra carbonio e azoto (C/N) è pari a 30, potendo arrivare in talune circostanze anche a valori pari a 35.

Valori più bassi di tale rapporto stanno ad indicare che si è in presenza di un eccesso di azoto, il quale, disperdendosi in atmosfera sotto forma di ammoniaca, può essere causa di emissioni maleodoranti.

Rapporti C/N superiori a 30 invece indicano che l'azoto costituisce un fattore limitante con conseguente rallentamento dell'attività metabolica. In casi del genere non tutto il carbonio sarà convertito ed il processo avrà dunque una resa molto bassa.

I batteri hanno altresì bisogno di fosforo. Un eccesso di fosforo non ha importanza, ma un difetto impedirà una corretta fermentazione. Il rapporto ottimale tra carbonio e fosforo C/P è pari a 150. Infine per i batteri la necessità di zolfo è molto ridotta, inferiore a quella in fosforo, anche se questo elemento è contenuto in grandi quantità nella materia da stabilizzare. Bisogna evitare che ve ne sia troppo perché potrebbero svilupparsi batteri solforiduttori che lo trasformano in idrogeno solforato, gas nocivo, maleodorante e pericoloso.

### **Composti tossici**

Vi sono sostanze che hanno un effetto tossico sul metabolismo microbico e influenzano la velocità di rimozione del substrato inquinante riducendola o addirittura azzerandola. Tali effetti di inibizione, totale o parziale, dipendono innanzitutto dal tipo di sostanza presente (organica, inorganica, più o meno biodegradabile) e dalla sua concentrazione, ma giocano un ruolo fondamentale anche il giusto compromesso tra i fattori quali la temperatura, il pH, il tipo di microrganismi, la concentrazione dei substrati organici. Grossolanamente, da un punto di vista pratico, possiamo suddividere tali inibitori in tre gruppi:

- ✓ Sostanze organiche tossiche ad alte concentrazioni ma facilmente biodegradabili a basse concentrazioni: è questo il caso degli acidi volatili nei sistemi anaerobi;
- ✓ Sostanze inorganiche che costituiscono fattori nutrizionali a basse concentrazioni ma sono tossici alle alte; ad esempio i sali ammoniacali e gli oligoelementi (Na, Fe, Co, Mn, Ca, Mg, Cu, Ni, Zn ecc.);
- ✓ Antibiotici o sostanze inorganiche in nessun caso biodegradabili che svolgono sempre un'azione inibitrice più o meno marcata anche a bassa concentrazione (metalli pesanti).

### Parametri di gestione del reattore

I parametri di gestione del reattore definiscono il processo in termini di tempi di permanenza della massa alimentata nel reattore, di concentrazione dei microrganismi, di rese di produzione di biogas in relazione al volume del reattore ed alle caratteristiche del substrato trattato.

I parametri di gestione del reattore sono:

**a) Tempo medio di residenza idraulico (HRT):** definito come il rapporto tra il volume del reattore considerato e la portata di alimentazione al reattore:

$$\text{HRT} = \frac{V}{Q}$$

HRT: tempo medio di residenza idraulico, [giorni];  
V: volume del reattore, [m<sup>3</sup>];  
Q: portata al reattore, [m<sup>3</sup>/giorno].

Esso rappresenta il tempo di permanenza di ogni elemento di fluido all'interno di un reattore. Ciò è vero in senso stretto per i soli reattori ideali, mentre nel caso dei reattori reali assumerà il senso di tempo di permanenza medio per i vari elementi di fluido, che permarranno tempi diversi all'interno del reattore in relazione alla sua geometria e ad altri parametri caratteristici del reattore.

**b) Tempo medio di residenza dei fanghi all'interno del reattore (SRT):** è dato dal rapporto tra la massa totale di solidi volatili presenti nel reattore e la portata di solidi estratta dal reattore.

Se la quantità di biomassa prodotta per crescita cellulare è pari alla quantità estratta dal reattore la concentrazione di biomassa attiva all'interno rimane costante nel tempo e si parlerà di condizioni di stato stazionario. Anche in questo caso valgono le considerazioni riportate per l'HRT in relazione al reattore ideale o reale. Si avrà quindi:

$$SRT = \frac{V \cdot X}{Q}$$

SRT: tempo medio di residenza dei fanghi, [giorni];

V: volume del reattore, [m<sup>3</sup>];

X: concentrazione dei solidi volatili all'interno del reattore, [kgSV/ m<sup>3</sup>];

W: portata di sostanza volatile estratta dal reattore, [kgSV/giorno]

**c) Carico organico volumetrico di substrato applicato al reattore (OLR, Organic Loading Rate):** è definito come la quantità di substrato entrante nel reattore riferita all'unità di volume del reattore stesso ed al tempo. Analiticamente:

$$OLR = \frac{Q \cdot S}{V}$$

OLR: fattore di carico organico volumetrico in termini di substrato riferito al volume del reattore, [kg<sub>substrato</sub>/m<sup>3</sup> reattore giorno];

Q: portata influente, [m<sup>3</sup>/giorno];

S: concentrazione di substrato nella portata influente, [kg/ m<sup>3</sup>];

V: volume del reattore, [m<sup>3</sup>].

Questo parametro viene di norma calcolato sulla base del volume utile del reattore e può essere riferito a diverse unità di misura utilizzate per esprimere la concentrazione di biomassa (ST, SV, COD, BOD).

**d) Carico organico riferito alla biomassa o ai solidi volatili nel reattore (CF):** viene definito come la quantità di substrato entrante nel reattore riferita alla quantità di sostanza volatile presente nel reattore nell'unità di tempo. Cioè:

$$CF = \frac{Q \cdot S}{V \cdot X}$$

CF: fattore di carico organico in termini di substrato (riferito alla biomassa o a i solidi volatili nel reattore), [kgsubstrato/kgSVgiorno];

Q: portata influente, [m<sup>3</sup>/giorno];

S: concentrazione di substrato nella portata influente, [kgSV/ m<sup>3</sup>];

V: volume del reattore, [m<sup>3</sup>];

X: concentrazione dei solidi volatili all'interno del reattore, [kgST/ m<sup>3</sup>].

Questo parametro è di difficile uso nella comparazione delle prestazioni dei diversi processi di digestione anaerobica in quanto è complesso distinguere il contenuto della sostanza volatile nel reattore associabile alla biomassa attiva rispetto al substrato.

**e) Produzione specifica di gas (SGP):** rappresenta la quantità di biogas che viene prodotta per quantità di sostanza volatile alimentata al reattore; viene quindi espressa in termini di m<sup>3</sup>biogas su kg di substrato alimentato.

Questo parametro, molto utilizzato per definire le rese dei processi di digestione anaerobica, è in realtà strettamente correlato alla biodegradabilità del substrato trattato piuttosto che alle proprietà del processo adottato. Dal punto di vista analitico è espresso come il rapporto:

$$SGP = \frac{Q_{\text{biogas}}}{Q \cdot S}$$

SGP: produzione specifica di biogas, [m<sup>3</sup>biogas/kg substrato alimentato];  
Q<sub>biogas</sub>: portata di biogas prodotto, [m<sup>3</sup>/giorno];  
Q: portata influente, [m<sup>3</sup>/giorno];  
S: concentrazione di substrato nella portata influente, [kg substrato/m<sup>3</sup>].

**f) Velocità di produzione del biogas (GPR):** è definita come la portata di biogas prodotto rispetto al volume del reattore ed al tempo:

$$GPR = \frac{Q_{\text{biogas}}}{V}$$

GPR: velocità di produzione del biogas, [m<sup>3</sup>biogas /m<sup>3</sup> reattore giorno];  
Q<sub>biogas</sub>: portata di biogas prodotto, [m<sup>3</sup>/giorno];  
V: volume del reattore, [m<sup>3</sup>].

**g) Efficienza di rimozione del substrato:** esistono diversi modi di esprimere l'efficienza di rimozione del substrato nel corso del processo di digestione anaerobica, oltre a quelli legati ai diversi parametri utilizzati per esprimere la sua concentrazione (sostanza solida totale, sostanza solida volatile, COD o BOD). I differenti metodi di valutazione adottati da ricercatori ed operatori del settore sono essenzialmente imputabili alla difficoltà di chiudere i bilanci di massa.

In generale, la più semplice relazione per la conversione del substrato in biogas, viene espressa in termini percentuali tramite la:

$$\eta = \frac{Q \cdot S - Q \cdot S_e}{Q \cdot S}$$

$\eta$ : percentuale di SV rimossi, [%];  
Q: portata influente ed effluente, [m<sup>3</sup>/giorno];



S: concentrazione di SV nella portata influente,  $[\text{kg}/\text{m}^3]$ ; ove concentrazione di SV nella portata effluente è calcolata come differenza tra la massa entrante ed il biogas prodotto (flussi di più facile quantificazione),  $[\text{kg}/\text{m}^3]$ .

## Tecniche di digestione anaerobica

Nel corso degli anni, studi e applicazioni della digestione anaerobica su diverse tipologie di biomasse hanno condotto alla ramificazione dell'offerta tecnologica. La principale distinzione per approccio impiantistico si basa sul tenore di sostanza secca del substrato alimentato al reattore. Le tecniche di digestione possono essere suddivise, da questo punto di vista, in tre gruppi principali:

- *digestione a umido (wet)*, quando il substrato in digestione ha un contenuto di sostanza secca inferiore al 10%
- *digestione a secco (dry)*, quando il substrato in digestione ha un contenuto di sostanza secca superiore al 20%
- *digestione a semisecco (semi-dry)* quando il substrato in digestione ha valori intermedi di sostanza secca

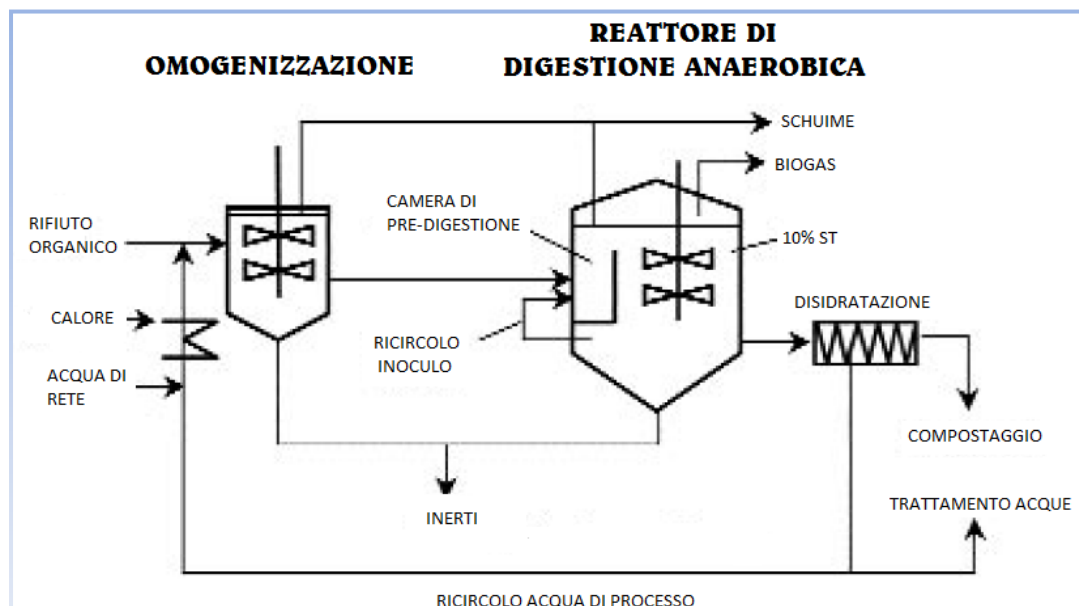
In base alla quantità ed al tipo di reflui disponibili ed in base alla tipologia di processo scelta, esistono diverse tipologie impiantistiche per la realizzazione di un impianto di digestione anaerobica.

### **Digestione ad umido (wet)**

Questo processo è stato il primo ad essere utilizzato nel trattamento della frazione organica dei rifiuti urbani dal momento che sfruttava le conoscenze acquisite in decenni di attività del processo di digestione anaerobica dei fanghi di supero negli impianti di trattamento acque reflue.

Nei processi di tipo wet il rifiuto di partenza viene opportunamente trattato e diluito al fine di raggiungere un tenore in solidi totali inferiore al 10% attraverso il ricorso a diluizione con acqua così da poter poi utilizzare un classico reattore completamente miscelato del tipo applicato alla stabilizzazione dei fanghi biologici negli impianti di depurazione. In generale, il processo prevede, dopo la fase di pre-trattamento del rifiuto, finalizzata alla rimozione di plastiche ed inerti e di corpi grossolani che potrebbero danneggiare gli organi meccanici del reattore, uno stadio di miscelazione in cui si ottiene una miscela con caratteristiche omogenee e l'opportuno contenuto in solidi. La diluizione può avvenire tramite aggiunta di acqua di rete o dal parziale ricircolo dell'effluente del reattore.

**Figura 1** – Tipico schema di processo wet a fase singola



Fonte: Il trattamento anaerobico dei rifiuti. Aspetti progettuali e gestionali [9]

A causa delle caratteristiche fisiche dei rifiuti trattati non è solitamente possibile ottenere una miscela omogenea e pertanto si osserveranno all'interno del reattore tre fasi separate, caratterizzate da distinte densità. La frazione più pesante tenderà ad accumularsi sul fondo del reattore e può determinare danni nel sistema di miscelazione se il rifiuto trattato non è sufficientemente pulito, mentre materiali leggeri e schiume si accumulano nella parte superiore del reattore. La fase a densità intermedia è quella in cui avvengono per lo più le effettive reazioni di degradazione e produzione del biogas. Nella gestione dell'impianto sono generalmente previste saltuarie rimozioni sia dello strato più pesante, presente sul fondo del reattore, che di quello leggero. Uno dei problemi che può essere connesso con la digestione anaerobica ad umido consiste nella corto-circuitazione idraulica del reattore: cioè, il flusso di materiale entrante, non perfettamente miscelato con il materiale già presente nel reattore, fuoriesce con tempi di ritenzione ridotti rispetto a quelli previsti da progetto. Ciò, oltre a determinare una minore degradazione del substrato trattato, e quindi una minor produzione di biogas, può determinare problemi di igienizzazione dei fanghi effluenti. Per questo motivo alcuni brevetti prevedono uno step di pastorizzazione dell'effluente dal reattore di digestione. I tipici vantaggi e svantaggi dei processi di digestione ad umido, evidenziati in anni di applicazione, sia dal punto di vista tecnologico, biologico che economico/ambientale, sono riportati in

Tabella 13 (Vandevivere et al., 2001).

**Tabella 13** - Vantaggi a svantaggi del processo wet

Critero	Vantaggi	Svantaggi
Tecnologico	Buona conoscenza ed esperienza nel campo del processo; Applicabilità in co-digestione con rifiuti liquidi ad alto contenuto in sostanza organica;	Corto-circuitazione idraulica; Fasi separate di materiale galleggiante e pesante; Abrasione delle parti meccaniche dovuta alla presenza di sabbie ed inerti; Pretrattamenti di preparazione del rifiuto complessi;
Biologico	Diluizione dei picchi di concentrazione di substrato e/o sostanze tossiche influenti il reattore;	Forte sensibilità ad eventuali shock per la presenza di sostanze inibitorie e carichi organici variabili che entrano in contatto intimo con la biomassa; Perdita di sostanza volatile biodegradabile nel corso dei pre-trattamenti;
Economico ed Ambientale	Spese ridotte per i sistemi di pompaggio e miscelazione, ampiamente diffusi sul mercato.	Elevati costi di investimento a causa degli equipaggiamenti utilizzati per i pre-trattamenti e per i volumi dei reattori; Produzione di elevate quantità di acque di processo.

Fonte: Vendervivere et al., 2001 [9]

#### Prestazioni del processo wet

I processi wet operano generalmente con carichi organici piuttosto bassi, inferiori a 6 kgVS/m<sup>3</sup>giorno, tipicamente nell'intervallo 2-4 kgVS/m<sup>3</sup>giorno. Non è attualmente ancora chiaro quale sia il fenomeno che limita la possibilità di applicare carichi organici maggiori nei processi ad umido. Una possibile spiegazione consiste nella concentrazione della biomassa attiva nel reattore, che sarebbe troppo bassa per operare al meglio. Altre spiegazioni chiamano in causa la velocità di trasferimento di massa dei nutrienti oppure l'accumulo di sostanze inibenti come ad esempio l'ammoniaca o gli acidi grassi volatili a catena corta. Qualora i digestori vengano alimentati con carichi organici superiori si osserva subito una diminuzione nella produzione del biogas. Per questo motivo si ritiene che la più valida delle spiegazioni sia la presenza/formazione di sostanze inibenti nel reattore, conseguente appunto all'incremento dei carichi da trattare. E' chiaro che reattori in cui la biomassa è totalmente dispersa in un mezzo liquido (reattori completamente miscelati, CSTR) sono particolarmente soggetti a problemi di inibizione, dal momento che biomassa e sostanze inibenti sono in intimo contatto. Per contro, occorre evidenziare che la situazione può essere facilmente ricondotta alla normalità per semplice aggiunta di acqua e conseguente diluizione (Nordberg et al., 1992). Alcune esperienze (Weiland, 1992 - Pavan

et al.,2000 - Groppelli et al.,1999), condotte per lo più a scala pilota, hanno permesso di evidenziare valori tipici per questo tipo di processo; la Tabella 14 riporta i valori tipici sia per quanto concerne i parametri di processo che le rese per processi wet a fase unica.

**Tabella 14** - Intervalli tipici per i valori dei parametri e le rese dei processi wet

Parametro di processo	
Solidi totali (%ST)	10 fino a 15
Carico organico (kg/m <sup>3</sup> d)	2 - 4, fino a 6
Tempo di ritenzione idraulica (d)	10 - 15, fino a 30
Rese di processo	
Produzione biogas (m <sup>3</sup> /ton.rifiuto)	100 - 150
Produzione specifica di biogas (m <sup>3</sup> /kgSV)	0,4 - 0,5
Velocità di produzione di biogas (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d)	5 - 6
Contenuto di metano (%CH <sub>4</sub> )	50 - 70
Riduzione della sostanza volatile (%)	50 - 60, fino a 75

Fonte: Il trattamento anaerobico dei rifiuti. Aspetti progettuali e gestionali [9]

### **Digestione a semisecco (semidry)**

In questo caso il contenuto di sostanza solida che caratterizza il rifiuto trattato si pone nell'intervallo intermedio rispetto ai processi wet e dry: opera infatti con rifiuti con un contenuto in solidi del 15-20%. Dal punto di vista impiantistico la soluzione adottata è quella di un reattore miscelato (CSTR) che può operare tanto in regime mesofilo che termofilo. Talvolta si rende necessario ricorrere a semplici pre-trattamenti di pulizia del rifiuto con eliminazione del materiale ferroso e di quello inerte grossolano seguito da triturazione e miscelazione. Nei casi in cui il rifiuto presenta un elevato contenuto di sostanza solida, è necessario procedere ad un pre-trattamento di pulizia del rifiuto piuttosto spinto e poi a diluizione del rifiuto con acqua, che potrà essere, di volta in volta, acqua di processo riciclata, o acqua fresca. In alcuni casi più spinti (rifiuto indifferenziato) sarà necessaria ovviamente una filiera di pre-trattamento per la separazione della frazione organica da inviare ai digestori anaerobici. Lo schema di pre-trattamento prevede diversi passaggi e può essere anche complesso. Ciò comporta inevitabilmente la perdita di parte del materiale organico biodegradabile, che può arrivare al 15-25% in termini di sostanza volatile (nel caso del trattamento del rifiuto indifferenziato, Farneti et al. 1999). La linea di pre-trattamento dovrà poi provvedere ad una opportuna purificazione del rifiuto in maniera da eliminare i rifiuti inerti quali metallo, sassi, vetro e sabbie che darebbero problemi agli organi di miscelazione nel reattore. Anche in questo processo, come nei processi di tipo

wet, si osserva la formazione di tre fasi distinte all'interno del reattore, anche se, in generale, il fenomeno è meno accentuato. Sarà comunque necessario prevedere, di tanto in tanto, lo svuotamento e la pulizia del fondo del reattore. Il sistema di miscelazione è generalmente garantito da miscelatori meccanici che possono essere coadiuvati da lance a gas che provvedono a ricircolare il biogas prodotto per incrementare l'efficienza di miscelazione (Cozzolino et al., 1992). I principali vantaggi e svantaggi del processo semi-dry sono richiamati in (Tabella 15)

**Tabella 15** - Vantaggi a svantaggi del processo semidry

Critério	Vantaggi	Svantaggi
Tecnologico	Semplicità di sistemi di pompaggio e miscelazione; Possibilità di trattare il rifiuto da raccolta differenziata senza particolari pretrattamenti;	Accumulo di materiali inerti sul fondo del reattore e necessità di scaricarli; Abrasione delle parti meccaniche; Pre-trattamenti complessi per RU indifferenziato;
Biologico	Diluizione dei picchi di concentrazione di substrato o sostanze tossiche;	Sensibilità ad eventuali shock per la presenza di sostanze inibitorie e carichi organici; Perdita di sostanza volatile biodegradabile nel corso dei pre-trattamenti del rifiuto indifferenziato;
Economico ed Ambientale	Spese ridotte per sistemi di pompaggio e miscelazione.	Elevati costi di investimento a causa degli equipaggiamenti utilizzati per i pre-trattamenti e per i volumi dei reattori; Produzione di elevate quantità di acque di processo.

Fonte: CITEC, 2000 [9]

#### Prestazioni del processo semi-dry

Nella digestione semi-dry anche il regime termico del sistema gioca un ruolo significativo: in particolare, a parità di carico organico applicato e di tempo di ritenzione idraulico, il passaggio da regimi mesofili a quelli termofili consente di incrementare notevolmente le rese in termini di biogas prodotto da 0.2 a 0.4 m<sup>3</sup>/kgVSd ed una riduzione della sostanza volatile dal 20 al 50% (Cecchi et al., 1991 e 1993; Pavan e Bolzonella, 1998). Il più comune reattore utilizzato rimane quello completamente miscelato (CSTR), operante in regime sia mesofilo che termofilo, all'interno del quale la miscelazione del materiale viene effettuata principalmente attraverso miscelatori meccanici coadiuvati o meno da sistemi di miscelazione a ricircolo di biogas.

I volumi dei reattori sono normalmente minori rispetto ai sistemi wet anche se la necessità di diluire rifiuti aventi concentrazione di sostanza secca maggiore del 20-25% può comportare un aumento delle dimensioni dei reattori stessi, oltre ad un aumento della

produzione di acque di processo e dei costi di esercizio per il mantenimento della temperatura ottimale di digestione.

La Tabella 16 riassume gli intervalli tipici dei parametri di processo e delle rese dello stesso.

**Tabella 16** - Intervalli tipici per i valori dei parametri e le rese dei processi semidry

Parametro di processo	
Solidi totali (%ST)	15 - 20 fino a 25
Carico organico (kg/m <sup>3</sup> d)	8 - 12, fino a 18 in termofilia
Tempo di ritenzione idraulica (d)	ott-15
Rese di processo	
Produzione biogas (m <sup>3</sup> /ton.rifiuto)	100 - 150
Produzione specifica di biogas (m <sup>3</sup> /kgSV)	0,3 - 0,5
Velocità di produzione di biogas (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d)	3 - 6
Contenuto di metano (%CH <sub>4</sub> )	55 - 60
Riduzione della sostanza volatile (%)	40 - 50, fino a 60

Fonte: Il trattamento anaerobico dei rifiuti. Aspetti progettuali e gestionali [9]

### **Digestione a secco (dry)**

Negli anni si è osservata la crescita del sistema dry che consente un trattamento senza bisogno di diluizioni. È possibile affermare e le nuove realizzazioni sono oggi equamente ripartite tra le tecnologie, con prevalente crescita del processo dry (De Baere, 2000). Nei processi dry il tenore in solidi del rifiuto alimentato al digestore è generalmente nell'intervallo 25-40% e pertanto solamente particolari rifiuti con elevato tenore di solidi (>50%) necessitano di essere diluiti con acqua per poter essere convenientemente trattati (Oleskiewicz e Poggi Varaldo, 1997). Ciò non comporta significative variazioni dal punto di vista biochimico e microbiologico nel processo anaerobico ma determina la necessità di una completa revisione dei metodi di trattamento per quanto concerne la tecnologia dei reattori. Sono infatti necessari particolari metodi di pompaggio e miscelazione. Infatti, a causa delle proprietà dei flussi trattati, il materiale organico viene trasportato con nastri e pompato attraverso il ricorso a speciali pompe appositamente progettate per operare con flussi molto viscosi. Ciò incide sui costi di realizzazione di questo tipo di impianti. Questi sistemi sono in grado di operare con flussi di materiale molto concentrati e resistono ai possibili problemi causati da sassi, vetro o legno che non causano inceppamenti o danni. L'unico pre-trattamento richiesto è una preliminare vagliatura al fine di rimuovere il materiale con dimensioni superiori ai 40 mm. Dal momento che i pre-trattamenti sono

limitati non si osserva perdita di materiale organico biodegradabile come può invece avvenire nel corso dei pre-trattamenti per materiale da trattare con processi wet e semi-dry. A causa della elevata densità e viscosità dei flussi trattati i reattori per il trattamento dry non sono del tipo completamente miscelato (CSTR) ma con flusso parzialmente o totalmente a pistone (vedi Figura 2 - plug-flow): ciò rende i reattori più semplici dal punto di vista meccanico ma comporta problemi di miscelazione tra il rifiuto organico fresco e la biomassa fermentante. La risoluzione di questo problema è fondamentale per evitare fenomeni localizzati di sovraccarico organico ed eventuale acidificazione che porterebbe ad inibizione del processo metanigeno. Il fatto di operare con flussi molto densi porta inoltre al superamento del problema della suddivisione di tre fasi distinte all'interno del reattore, come poteva invece avvenire nei processi wet e semi-dry.

**Figura 2** – Esempio tecnologia flusso a pistone



Dal punto di vista economico si evidenzia come nel caso dei processi di tipo dry gli elevati costi di investimento iniziale sono dovuti alla necessità di dotarsi di sistemi di trasporto e pompaggio del rifiuto organico da trattare che siano particolarmente resistenti e tecnologicamente avanzati. Per contro, operando con rifiuti ad elevata concentrazione di sostanza solida, non sono necessari pre-trattamenti particolarmente raffinati ed i volumi dei reattori necessari sono ridotti: quindi le spese di costruzione dei reattori sono minori rispetto ai processi wet e semidry.

La ridotta dimensione del reattore si ripercuote poi favorevolmente, in fase di esercizio, sul bilancio energetico dello stesso, dal momento che è necessario riscaldare una minor quantità di rifiuto da trattare. Una differenza fondamentale tra i processi di tipo dry e quelli di tipo wet o semi-dry consiste nel ridotto utilizzo, nel caso di processi dry, di acqua per la diluizione dei rifiuti. Ne consegue che la quantità di acqua di scarico sarà ridotta.

Alcuni autori (Baeten and Verstraete, 1993) riportano inoltre una migliore igienizzazione del prodotto finale nel caso di processi dry operanti in regime termofilo. I principali vantaggi e svantaggi dei processi dry sono richiamati in Tabella 17.

**Tabella 17** - Vantaggi a svantaggi del processo dry

Critero	Vantaggi	Svantaggi
Tecnologico	Nessun bisogno di miscelatori interni al reattore; Robustezza e resistenza ad inerti pesanti e plastiche; Nessuna corto circuitazione idraulica;	Rifiuti con basso tenore in sostanza solida (<20% TS) non possono essere trattati da soli;
Biologico	Bassa perdita di sostanza organica biodegradabile nei pre-trattamenti; Elevati OLR applicabili; Resistenza a picchi di concentrazione di substrato o sostanze tossiche;	Minime possibilità di diluire sostanze inibitorie e carichi organici eccessivi con acqua fresca;
Economico ed Ambientale	Pre-trattamenti minimi e più economici; Ridotti volumi dei reattori; Ridotto utilizzo di acqua fresca; Minime richieste di riscaldamento del reattore.	Elevati costi di investimento a causa degli equipaggiamenti utilizzati per il trattamento.

Fonte: Vendervivere et al., 2001 [9]

La scelta della tecnologia dipende dal giusto compromesso tra la capacità di ottenere ottime rese in termini di produzione di biogas e riduzione dei volumi di fanghi da smaltire in relazione al tipo di rifiuto trattato. Il tutto con un soddisfacente recupero di energia e calore riutilizzabili.

#### Prestazioni del processo dry

Uno dei maggiori problemi connessi ai processi di tipo dry può essere rappresentato dal rischio di squilibrare il processo verso la fase acidogenica, a causa degli elevati carichi organici applicati ai reattori, quando la frazione organica è caratterizzata da un elevato grado di biodegradabilità.

La Tabella 18 riporta i tipici valori di esercizio e le rese dei processi dry.

**Tabella 18** - Intervalli tipici per i valori dei parametri e le rese dei processi dry

Parametro di processo	
Solidi totali (%ST)	25 - 40
Carico organico (kg/m <sup>3</sup> d)	08-10
Tempo di ritenzione idraulica (d)	25 - 30
Rese di processo	
Produzione biogas (m <sup>3</sup> /ton.rifiuto)	90 - 150
Produzione specifica di biogas (m <sup>3</sup> /kgSV)	0,2 - 0,3
Velocità di produzione di biogas (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d)	2 - 3
Contenuto di metano (%CH <sub>4</sub> )	50 - 60
Riduzione della sostanza volatile (%)	50 - 70

Fonte: Il trattamento anaerobico dei rifiuti. Aspetti progettuali e gestionali [9]



## Monostadio e bistadio

Il processo di digestione anaerobica è anche suddiviso in:

- *processo monostadio*, quando le fasi di idrolisi, fermentazione acida e metanigena avvengono contemporaneamente in un unico reattore;
- *processo bistadio*: prevede la separazione fisica della fase idrolitica e fermentativa dalla vera e propria fase metanigena. I due processi avvengono infatti in reattori separati. Dal momento che i processi vengono separati ed avvengono in condizioni ottimali, le rese in termini di degradazione della sostanza biodegradabile e di produzione biogas sono ottimizzate (Ghosh et al., 1999).

**Tabella 19** - Vantaggi a svantaggi dei processi a due fasi

Critero	Vantaggi	Svantaggi
Tecnologico	Elasticità del processo;	Complessità impiantistica;
Biologico	Processo più affidabile anche per rifiuti con basso contenuto in cellulosa;	Minori rese in termini di produzione di biogas quando i solidi non vengono metanizzati;
Economico ed Ambientale	Minor quantità di sostanze tossiche (metalli pesanti) nell'effluente del digestore.	Elevati costi di investimento a causa della complessità impiantistica.

Fonte: Vendervivere et al., 2001 [9]

I processi a due stadi possono essere operati con o senza ritenzione della biomassa nel secondo stadio. A seconda di questa particolarità costruttiva si hanno diverse rese.

In questo caso si possono avere svariate configurazioni: ad esempio reattori miscelati in serie (Pavan et al., 2000) oppure reattori con flusso a piste in serie. In questo secondo caso si possono avere configurazioni con due reattori operanti con processi wet in entrambi gli stadi (processo Schwarting-Uhde) oppure di tipo dry in entrambi gli stadi (processo BRV). Nel caso di reattori miscelati in serie i rifiuti vengono triturati e miscelati con acqua sino ad ottenere un substrato con un contenuto in solidi del 10% circa prima di essere alimentati al primo reattore. Nel caso di processi operanti con reattori con flusso a piste il rifiuto separato alla fonte è trattato direttamente.

Il sistema a fasi separate ha dimostrato di essere particolarmente affidabile e stabile anche per rifiuti organici ad elevata biodegradabilità. Ciò è forse imputabile al fatto che la rapida idrolizzazione ed acidificazione che potrebbe causare un abbassamento del pH, con accumulo di acidi grassi volatili inibenti per la biomassa metanigena, avviene nel primo reattore, preservando il secondo reattore da questo tipo di problemi. In processi di questo

tipo il primo reattore può sopportare fluttuazioni anche significative dell'OLR e quindi preservare il secondo reattore da fenomeni di shock.

Inoltre, la digestione anaerobica può essere condotta, come già menzionato, o in condizioni **mesofile** (circa 35°C) o **termofile** (circa 55°C); la scelta tra le due determina in genere anche la durata (tempo di residenza) del processo.

Mediamente in mesofilia si hanno tempi di residenza compresi nel range 15-40 giorni, mentre in termofilia il tempo di residenza è in genere inferiore ai 20 giorni (con i liquami zootecnici ed i reflui agroindustriali). Con impiantistica di tipo semplificato è possibile operare anche in psicrofilia (10-25°C), con tempi di residenza superiori ai 30 giorni, fino a 90 giorni.

**Tabella 20** – Tempi di residenza in funzione della temperatura di processo

	Psicrofila	Mesofilia	Termofilia
Temperature (°C)	10 - 25	33 - 38	50 - 55
Tempi di residenza (giorni)	30 - 90	15 - 40	< 20

Fonte: [www.syngen.it](http://www.syngen.it) [1]

### Dimensionamento del digestore

I criteri per dimensionare un digestore anaerobico continuo o semicontinuo sono due:

- Si considera esclusivamente il carico volumetrico alimentato giornalmente (l'unico parametro da considerare in questo caso è il tempo di ritenzione idraulico). Il dimensionamento effettuato sulla base del tempo di residenza volumetrica (HRT) non è sufficiente a garantire il rispetto delle specifiche di esercizio, ma può essere eseguito solo in prima approssimazione e deve servire come verifica della compatibilità tra la geometria del digestore ed il tipo di materia da trattare.
- Si considera il carico organico applicabile al processo, in modo da garantire il giusto apporto di substrato alla biomassa che deve operare la digestione, tenendo conto del genere di batteri (mesofili, termofili), della tipologia di impianto e della reattività della biomassa.

Per la determinazione del tempo di residenza idraulica si applica il seguente schema:

- Determinazione dei flussi di massa in ingresso: le quantità in ingresso sono calcolate in funzione della provenienza della biomassa (deiezioni animali, culture dedicate; frazione organica dei rifiuti, fanghi da acque reflue) e delle diluizioni o degli ispessimenti richiesti;

2) Determinazione del carico organico per m<sup>3</sup> di reattore e calcolo del volume utile:

considerando i dati a disposizione, si sceglie un carico organico ottimale da applicare al digestore, in base agli intervalli utili di carico organico e di HRT specifici in funzione della tipologia di trattamento (wet, dry, semidry) e della temperatura di processo (mesofilia, termofilia). A questo punto, noto il carico che si vuole applicare ed il flusso di massa in TVS in ingresso, il volume del digestore sarà dato da:

$$SV(\text{Kg}) \text{ al giorno} / CO (\text{kgTVS}/\text{m}^3 \text{ d}) = \text{m}^3 \text{ di reattore}$$

3) Verifica delle condizioni operative: il volume determinato, anche se corretto in linea di principio, può non soddisfare le condizioni di mantenimento dell'HRT ai valori desiderati. Per condurre questa verifica è necessario conoscere il volume di substrato da alimentare, da calcolare tenendo conto di eventuali diluizioni (es. per portare la concentrazione al 20% nel processo semi-dry). Nota quindi la densità, si ricava:

$$\text{fraz. org. selezionata al giorno (m}^3\text{)} = \frac{\text{fraz. org. selezionata diluita (m}^3\text{)}}{\text{densità } \left(\frac{\text{t}}{\text{m}^3}\right)}$$

e quindi l'HRT.

$$HRT (\text{giorni di ritenzione}) = \frac{\text{Volume digestore (m}^3\text{)}}{\text{fraz. org. selezionata al giorno (m}^3\text{)}}$$

Spesso, seguendo questa logica, l'HRT che si viene ad applicare risulta troppo basso. E' opportuno allora ripetere il calcolo diminuendo il carico, fino ad arrivare ad un compromesso ottimale. La riduzione del carico organico rappresenta sempre un fattore di sicurezza aggiuntivo rispetto ad eventuali situazioni di sovraccarico, in quanto il sistema può lavorare in condizioni meno stressanti.

4) Considerazioni energetiche: La produzione di biogas giornaliera può essere calcolata utilizzando la seguente relazione:

$$Q \left( \frac{\text{m}^3}{\text{giorno}} \right) = \frac{\text{m}^3}{\text{kg SV}} \times \frac{\text{kg SV}}{\text{giorno}}$$

Stimando un potere calorifico inferiore di 5500 kcal/m<sup>3</sup>, avremo la potenzialità energetica giornaliera:

$$\frac{\text{kcal}}{\text{giorno}} = \frac{5.500 \text{ kcal}}{\text{m}^3 \text{ biogas}} \times \frac{\text{m}^3 \text{ biogas}}{\text{giorno}}$$

La spesa energetica per riscaldamento consta di due voci:

- il riscaldamento del rifiuto in ingresso; si può dimostrare, con calcoli appropriati, che il calore disperso per le perdite non supera il 5-10% del calore totale necessario a mantenere in temperatura il digestore;
- le perdite di calore del digestore.

La spesa maggiore è quindi quella dovuta al riscaldamento della massa in ingresso.

Conoscendo il calore specifico del substrato, si ha che:

$$\text{Massa in ingresso} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{giorno}} \right) \times \text{Calore specifico} \left( \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{giorno}} \right) \times (T_{\text{esercizio}} - T_{\text{ambiente}}) (^\circ\text{C}) = \frac{\text{kcal}}{\text{giorno}}$$

a questo vanno aggiunte le perdite pari approssimativamente al 5-10% del totale.

Bisogna considerare che non tutta la sostanza volatile viene completamente convertita in biogas. Infatti, dato che la sostanza organica non è composta solo dalla frazione rapidamente biodegradabile, per permettere una degradazione quasi completa della sostanza volatile sarebbero necessari tempi di residenza volumetrica lunghissimi, con volumi e costi dei digestori non sostenibili.

Nella pratica, perciò, si rinuncia a convertire in biogas tutta la sostanza volatile e si interrompe il trattamento biologico all'incirca quando tutta la frazione rapidamente biodegradabile è stata metabolizzata dai microrganismi. La sostanza volatile rimanente, infatti, viene aggredita dalla flora batterica con una lentezza tale da poter considerare ormai stabilizzata la sostanza organica alimentata. Per il calcolo del volume utile del digestore occorre considerare un coefficiente di sicurezza rappresentativo della flessibilità desiderata per l'impianto, generalmente compreso tra 1.1 e 1.3. Un digestore dimensionato con un carico organico basso, a cui corrisponde un volume del reattore elevato, è caratterizzato da una buona flessibilità di esercizio, in quanto permette di affrontare diverse capacità di trattamento. Inoltre il sovradimensionamento incide in misura limitata sui costi d'impianto. Per contro le rese di processo ( $\text{m}^3$  di biogas prodotto/ $\text{m}^3$  di reattore al giorno) sono minori rispetto ai reattori ad alto carico.

I valori del carico organico applicato nei principali tipi di processi di digestione anaerobica dipendono dalla maggiore o minore biodegradabilità delle matrici.

**Tabella 21** – Carico organico in funzione della tipologia di processo e della temperatura

	Mesofilia			Termofilia		
	Processo			Processo		
	Umido	Semi-secco	Secco	Umido	Semi-secco	Secco
Carico organico (KgSV/m <sup>3</sup> ×d)	2-4	4-8	4-9	2-5	5-20	6-15

Fonte: [www.syngen.it](http://www.syngen.it) [1]

## ASPETTI TECNICI DI UN IMPIANTO DI DIGESTIONE ANAEROBICA

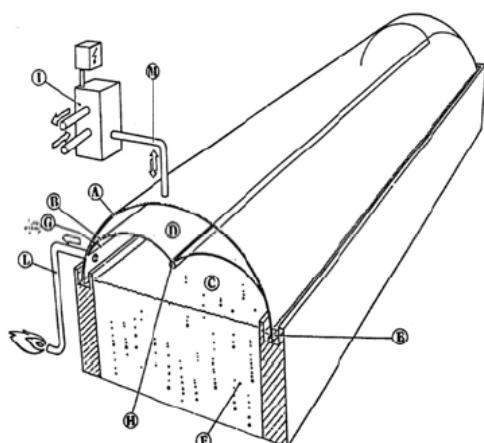
### Soluzione costruttiva

Il primo aspetto da affrontare relativo al digestore è la scelta della soluzione costruttiva da adottare. Sono diverse le alternative: calcestruzzo armato gettato in opera, elementi modulari prefabbricati, lamiera di acciaio variamente protette (verniciate, zincate, vetrificate, inox, ecc.). Ogni soluzione presenta, evidentemente, aspetti positivi e criticità che devono essere considerati in relazione alla situazione specifica per adottare quella che minimizza gli aspetti negativi e dà le migliori garanzie di successo.

Le soluzioni impiantistiche più semplici sono quelle delle vasche e lagune riscaldate o non riscaldate:

- le *vasche* possono essere realizzate sia fuori terra che parzialmente interrato;
- le *lagune* sono realizzate direttamente nel terreno, previa impermeabilizzazione, ed hanno dimensioni molto più ragguardevoli.

Il recupero del biogas affiorante in superficie è in genere affidato a materassi galleggianti in PVC e telo, oppure a tubazioni di captazione tenute in depressione per mezzo di un compressore esterno, che aspirano quanto viene prodotto sotto la copertura (Figura 3 Figura 3 - Esempio di reattore a vasca;).



**Figura 3** - Esempio di reattore a vasca;  
A copertura impermeabile; B membrana di separazione;  
C camera del biogas; D Camera aria; E ancoraggio;  
F vasca liquami; G giunzione tra membrana e copertura;  
H zavorra membrana; I pompa dell'aria;  
L uscita gas; M tubo dell'aria (fonte Ecomembrane).

Questi reattori comportano delle problematiche di processo in quanto sprovvisti di sistema di agitazione, che permette di omogeneizzare il liquame all'interno della vasca, e di sistemi di riscaldamento efficaci, date le grandi dimensioni soprattutto delle lagune; inoltre, i solidi presenti nel refluo tendono a solidificare ed a formare una sorta di crosta rigida che nel peggiore dei casi può comportarsi da accumulo di biogas.

La seconda tipologia di reattore, CSTR (Completely Stirred Reactor), rappresenta un reattore a miscelazione completa, (Figura 4) costituito da una vasca di forma cilindrica, dimensionata opportunamente in base ai volumi e alle sostanze da trattare, in cui il sistema di agitazione determina un continuo rimescolamento del materiale interno alla vasca, garantendo una uniformità della miscela.



**Figura 4** - Esempio di reattore CSTR

Un'ulteriore tipologia di reattori è rappresentata dalla classe dei plug-flow reactor (PFR) che consistono in una vasca prismatica in cui la dimensione longitudinale è di gran lunga prevalente sulle altre, come si può apprezzare dalla Figura 5.



**Figura 5** - Esempio di reattore PFR

Il PFR è il reattore a più alto rendimento e può trattare liquami a più alto contenuto di solidi, e non richiede, anzi, rifiuta la miscelazione, in modo che il refluo avanzi lentamente lungo la vasca, con concentrazioni di batteri e nutrienti costanti in ogni sezione e variabili gradualmente sezione per sezione, fino a ottenere quelle desiderate, nella sezione terminale.

Esistono anche reattori PFR abbinati ad agitatori meccanici nel caso in cui il contenuto di solidi sia inferiore al 13%.

### **Soluzione con getto di calcestruzzo in opera.**

È sicuramente la più diffusa grazie alla sua facile adattabilità alle differenziate richieste delle varie ditte, in relazione alla predisposizione di fori e aperture. È questo un aspetto molto apprezzato dagli impiantisti che non devono impegnarsi in alcun modo per adattare la loro componentistica all'opera muraria. Per contro la qualità del manufatto, oltre che dalle caratteristiche dei materiali impiegati e dei relativi dosaggi, è influenzata dalle condizioni ambientali che, incontrollabili, portano inevitabilmente a una sua variabilità che la cura e l'attenzione del costruttore possono sicuramente ridurre, ma mai annullare.

### **Soluzione con manufatti prefabbricati.**

L'utilizzo di manufatti prefabbricati consente di abbreviare notevolmente i tempi di realizzazione e, essendo questi costruiti in officina, dà garanzie circa la costanza della qualità costruttiva.

Per contro è necessario un preventivo coordinamento tra costruttore e impiantista che richiede uno sforzo progettuale di entrambi per adeguarsi ai vincoli della prefabbricazione. A fronte di questo maggiore impegno iniziale si ha poi una facilitazione nella programmazione degli impianti futuri. Interessante, inoltre, la possibilità di rispondere senza particolari oneri, anzi con un recupero, se pur parziale, del valore dei manufatti, alla prescrizione contenuta nel decreto legislativo 387/2003 di ripristino dello stato dei luoghi nell'eventualità di dismissione dell'impianto (articolo 12/4).

Il prefabbricato, infatti, può essere smontato e recuperato per utilizzi diversi in altra sede.

### **Soluzione in acciaio**

È forse la soluzione più elastica e facilmente adattabile alle diverse esigenze impiantistiche. Un aspetto da considerare è sicuramente la necessità di protezione dalla corrosione e di prevenire con particolare attenzione ogni possibile depressione nel sistema. Come già accennato, varie sono le opzioni possibili: dall'utilizzo di materiale resistente di per sé alla corrosione (ad esempio acciai inossidabili, costi permettendo), a rivestimenti di varia natura. È una soluzione non particolarmente diffusa i cui vantaggi sono riconducibili alla rapidità di esecuzione e, come per la soluzione precedente, alla possibilità di ripristinare i luoghi senza costi particolari, grazie al valore residuo del materiale ferroso.

Costruzione di un digestore in opera con l'utilizzo di speciali casseri metallici



Costruzione di un digestore con manufatti prefabbricati e precoibentati



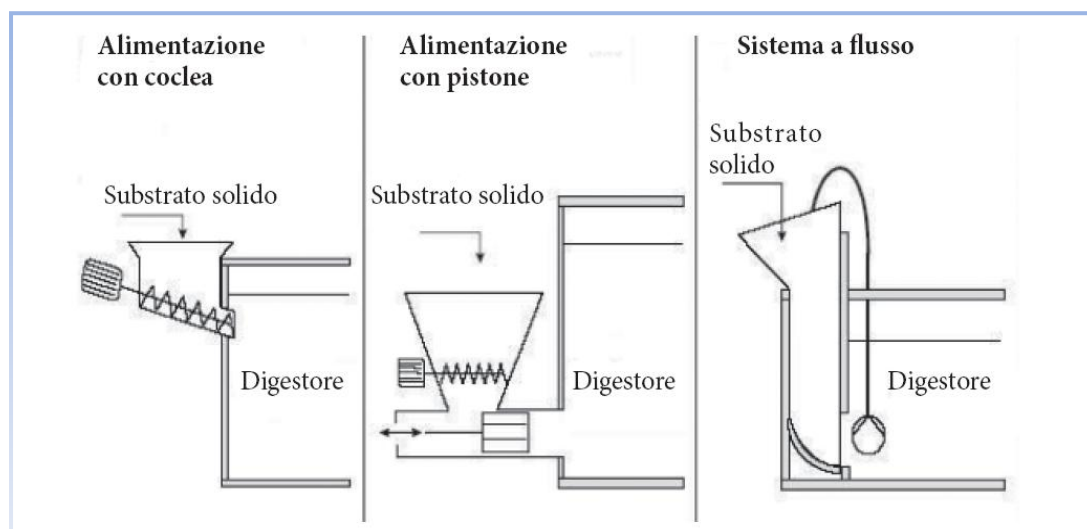
## Caricamento

Nella progettazione delle unità di digestione anaerobica è necessario anche prestare particolare attenzione agli aspetti costruttivi legati al sistema di caricamento e scaricamento della miscela dal digestore ed alla movimentazione dei fanghi. Il sistema di caricamento/scaricamento dipende dal tipo di matrici che si vuole digerire e deve essere realizzato in modo tale che, durante le fasi di introduzione e di estrazione del materiale dal digestore, non si verifichi ingresso d'aria nella massa in fermentazione e fughe di materia o di biogas dal reattore.

Per esempio, nel caso di codigestione con i liquami zootecnici di colture energetiche e/o scarti organici agroindustriali, è necessaria la presenza in testa al digestore di un sistema di alimentazione che tagli e sminuzzi i co-substrati, e ne consenta la dosatura e la pesatura. A tal fine negli ultimi anni si è sviluppata molto la tecnica "ad introduzione diretta" nel digestore anaerobico, di cui si riportano alcuni esempi nella Figura 6.



**Figura 6** – Sistemi di carica diretta delle frazioni solide.



Fonte: Weiland P., Rieger C., Ehrmann T. - 2003

Nel caso di codigestione della frazione organica da raccolta differenziata dei rifiuti urbani (FORSU), tra i pre-trattamenti di tipo innovativo di recente comparsa sul mercato rientra la “pressatura/spremitura”, con l’obiettivo di disidratare il materiale e ridurre la quantità di coformulante necessario per l’avvio a compostaggio, con conseguente implementazione della capacità di trattamento del sistema. La frazione liquida che si produce è ottima per l’invio a digestione anaerobica.

Allo scopo sono comparsi sul mercato sia miscelatori dotati di coclea aggiuntiva per la pressatura, sia presse singole operanti a punto fisso. Il ricorso a tale pre-trattamento è peraltro limitato, anche in relazione alla ancora ridotta presenza di impianti a doppia linea anaerobica-aerobica, in Italia.

Tuttavia si tratta di una tematica intorno alla quale c’è grande interesse. A tali operazioni se ne possono aggiungere altre, specifiche per quei casi in cui si intendono recuperare partite di prodotti alimentari inscatolati difettosi e/o scaduti (conserve vegetali, succhi di frutta, condimenti, ecc.).

A tale scopo il mercato offre una macchina specifica, definita “idropulper” o “selezionatore a umido”, dedicata alla selezione di rifiuti organici eterogenei che consente di separare la parte organica dalle restanti frazioni indesiderate, quali le frazioni leggere (plastiche, ecc.) e gli inerti.

Parallelamente, operatori del settore stanno mettendo a punto dispositivi aventi lo stesso scopo, ma in grado di operare senza aggiunta di acqua.

Il sistema di scaricamento, nel caso si utilizzi il volume del digestore come polmone, deve permettere il dosaggio del materiale digerito alla fase successiva del processo.

Deve essere previsto inoltre un sistema di controllo allo scarico che impedisca accidentali svuotamenti del digestore.

Per quanto riguarda la movimentazione dei fanghi è necessario utilizzare particolari accorgimenti, tanto più importanti quanto maggiore è il contenuto di solidi nella massa in alimentazione. In particolare si possono fornire le seguenti indicazioni:

- ✓ il diametro delle tubazioni deve essere sempre superiore ai 3 pollici, anche nelle movimentazioni di portate ridotte;
- ✓ devono esser evitati gomiti stretti e restringimenti di sezioni;
- ✓ le pompe utilizzate devono essere di tipo volumetrico e senza restringimenti di diametro rispetto alle tubazioni;
- ✓ per il ricircolo dei fanghi possono essere utilizzate anche pompe dilaceratrici;
- ✓ devono essere previsti sistemi per il disintasamento, soprattutto in prossimità di pompe ed organi di intercettazione e controllo;
- ✓ devono essere previste valvole di sicurezza sulle linee principali.

Qualunque sia il sistema di caricamento/svuotamento e di movimentazione dei fanghi, il digestore deve essere dotato di un sistema di protezione alla pressione ed al vuoto.

### **Sistemi di agitazione per l'omogeneizzazione del substrato**

All'interno del reattore il substrato in fase di digestione deve essere opportunamente miscelato, in modo tale da:

- favorire il contatto tra batteri e substrato;
- evitare la presenza di zone morte;
- garantire una distribuzione omogenea della temperatura;
- ottimizzare il rilascio di biogas;
- evitare la sedimentazione del fango e la formazione di croste superficiali.

Per ottimizzare l'efficienza della digestione anaerobica, come in ogni processo biologico, è necessario assicurare il massimo contatto tra microrganismi e biomassa in fermentazione: è questo il compito della miscelazione.

La difficoltà a mantenere condizioni di miscelazione ottimali è funzione, oltre che del volume del digestore, anche delle caratteristiche delle biomasse trattate e del tenore di

solidi del materiale. I numerosi sistemi disponibili, di seguito elencati, dovranno quindi essere valutati sulla base di questi aspetti oltre che, ovviamente, della loro affidabilità.

L'importanza di questo componente è confermata dall'approccio che riservano a questa scelta i vari costruttori per i quali i metodi di miscelazione sono praticamente diventati la loro bandiera. Insomma, scegliere la tipologia di miscelazione significa spesso scegliere il costruttore.

#### Miscelazione idraulica

Prevede la miscelazione della massa grazie al ricircolo della stessa tramite una pompa esterna e la sua distribuzione interna tramite ugelli opportunamente posizionati e orientati.

Il suo interesse è legato all'assoluta mancanza di elementi meccanici in movimento all'interno del digestore, essendo la pompa di ricircolazione installata all'esterno, in posizione ove diventa facile ogni operazione di controllo e di manutenzione.

La potenza installata è variabile in funzione della geometria del digestore e del tenore in solidi, mediamente si può considerare variabile dai 20 ai 50 W/m<sup>3</sup>.

Si tratta di un sistema che ha dimostrato in varie realizzazioni un'ottima efficienza a patto che la progettazione fluidodinamica non sia banalizzata, ma sviluppata accuratamente e che il tutto sia realizzato in sintonia con le indicazioni progettuali. In caso di difformità è facile riscontrare difficoltà e problemi operativi.

#### Miscelatori meccanici

Sono sicuramente i più utilizzati grazie anche alla loro maggiore semplicità di applicazione. Sono disponibili numerose tipologie che si diversificano sia per motorizzazione, sia per caratteristiche degli organi di miscelazione.

La prima grande differenziazione da considerare è sicuramente la motorizzazione se idraulica o elettrica e se esterna al digestore o interna.

Alcuni costruttori, in corrispondenza soprattutto della diffusione della codigestione di biomasse vegetali, con elevato contenuti in solidi, prevedono l'impiego di miscelatori lenti, ad asse di rotazione sia orizzontale, sia verticale, dotati di grandi organi di movimentazione.

In questo caso la motorizzazione è esterna ed elettrica. In questo modo, all'interno del digestore, sono sì presenti organi in movimento, ma di buona affidabilità per i quali è veramente limitata la possibilità di rotture impreviste.

In effetti ogni eventuale intervento di manutenzione relativo ai componenti interni richiederebbe lo svuotamento del digestore con evidenti notevoli costi per mancata

produzione. Per questo è comunque importante programmare una manutenzione preventiva in coincidenza con le operazioni di pulizia del digestore che, in funzione della biomassa utilizzata, va prevista ogni 3-5 anni.

Diverso è l'approccio consentito dai mixer con motorizzazione sommergibile ove sono possibili interventi di manutenzione, e di sostituzione, in tempi relativamente contenuti (2-3 ore) mantenendo il digestore in attività, ma disattivando solamente, per il tempo necessario, il gasometro.

Questi prevedono sia la motorizzazione elettrica, più frequentemente, sia quella idraulica e sono, di norma, installati su colonne orientabili per poterne variare il flusso e ottimizzarne l'effetto.

A livello operativo sono autorevolmente rappresentate tutte le soluzioni sopra elencate che dimostrano di rispondere, nella sostanza, alle esigenze impiantistiche.

Le differenze sull'efficienza dell'impianto, in effetti non facilmente rilevabili e comunque spesso non rilevanti, sono da riscontrare in rapporto alla diversa concentrazione di solidi presenti nel digestore e al diverso periodo di funzionamento degli stessi (variabile dal funzionamento continuo, per alcune soluzioni ad asse orizzontale con basse potenze installate, e discontinuo, con periodi di funzionamento molto distanziati, per soluzioni con mixer sommergibili con elevate potenze installate), combinazioni che portano, nella sostanza, a consumi energetici complessivi molto simili per le varie soluzioni.

Gli agitatori meccanici sono generalmente soggetti ad abrasione e ad intasamento, a causa della presenza di particelle dure o fibrose, e richiedono pertanto frequenti interventi di manutenzione.

Il ricircolo del fango dall'uscita all'ingresso del digestore non produce una sufficiente miscelazione e pertanto viene utilizzato in combinazione con i sistemi meccanici.

Per quanto riguarda l'iniezione di biogas essa viene generalmente effettuata in zone specifiche per evitare di esporre i batteri ad ambienti sfavorevoli.

E' richiesta una pressione più elevata per processi a secco che per processi ad umido.

**Tabella 22** - Sistemi di agitazione

Tipo di mixer	Vantaggi	Svantaggi
Tutti i sistemi	Aumento della velocità di stabilizzazione	Corrosione e logorio dei materiali ferrosi. Intasamento dovuto a stracci e materiali fibrosi.
Lance montate sulla parte superiore del digestore	Minor manutenzione e minori ostacoli alla pulizia rispetto alle lance montate sul fondo. Efficacia nel controllo delle schiume	Corrosione delle tubazioni. Alti costi di manutenzione per i compressori. Problemi di intasamento. Problemi con i compressori nel caso di risalita delle schiume. Deposito di solidi.

Diffusori di fondo	Miglior movimentazione degli strati bassi del digestore	Corrosione delle tubazioni. Alti costi di manutenzione dei compressori. Problemi di schiume. Possibilità di intasamento. Miscelazione non completa del digestore. Formazione di schiume. Depositi di fondo possono variare il profilo di miscelazione. Rottura dei tubi di fondo. Necessario lo svuotamento per la manutenzione.
Gas-lifter	Migliore miscelazione e produzione di gas rispetto alle lance montate sulla parte superiore. Minor potenza assorbita	Corrosione delle tubazioni. Alti costi per la manutenzione dei compressori. Corrosione del gas-lifter. Formazione di schiume. Miscelazione di superficie poco efficiente. Necessario lo svuotamento per la manutenzione. Intasamento delle lance. Problemi dovuti ad un'attivazione intermittente
Agitatori meccanici Turbine a bassa velocità	Buona efficienza di miscelazione	Logorio delle pale. Intasamento a causa di stracci. Possibilità di perdite di gas nel sistema di tenuta dell'albero. Possibilità di lunghi periodi di sovraccarico. Richiedono installazioni di potenza maggiori. Inibizione del processo di digestione (per velocità elevate)
Miscelatori a bassa velocità	Rottura delle croste	Non adatto per la miscelazione di tutto il digestore. Possibilità di perdite dalla tenuta dell'albero. Logorio delle pale. Intasamento da stracci. Inibizione del processo di digestione (per velocità elevate)
Pompaggio meccanico (interno)	Buona miscelazione in senso verticale. Bassa formazione di schiume.	Sensibile al livello del liquame. Corrosione delle parti in movimento delle pompe. Richiedono installazioni di potenza maggiori. Intasamento da stracci.
Pompaggio meccanico (esterno)	Buona miscelazione in senso verticale. Bassa formazione di schiume grazie al continuo pompaggio dello strato superficiale. Minori costi di manutenzione rispetto ai compressori	La pulizia completa richiede lo svuotamento. Possibilità di intasamento da stracci. Logorio delle parti in movimento. Maggiori costi energetici dovuti alla compressione del biogas. Possibilità di intasamento dei diffusori. Problemi dovuti ad un utilizzo intermittente
Insufflazione di biogas dal fondo	Valida anche nei sistemi ad alto contenuto di solidi Assenza di sistemi meccanici in ambiente di gas	Maggiori costi energetici dovuti alla compressione del biogas. Possibilità di intasamento dei diffusori. Problemi dovuti ad un utilizzo intermittente

Fonte: documento CITEC 2001

## Coibentazione

Nella realtà operativa si riscontrano applicazioni per tutte le soluzioni indicate anche se, dall'esperienza germanica, mi sembra di poter affermare che le soluzioni più diffuse sono quelle in calcestruzzo sia in opera sia con l'utilizzo di moduli prefabbricati.

In ogni caso è fondamentale assicurare la corretta coibentazione del manufatto garantendo un coefficiente medio di trasmissione del calore K pari almeno a 0,30 kcal/ora/m<sup>2</sup>/°C ed evitando ogni ponte termico. L'attenzione deve essere massima in presenza di struttura in acciaio, ove viene a mancare il benefico effetto dell'inerzia termica ben presente invece nelle soluzioni in calcestruzzo.

## Riscaldamento

L'attività dei batteri metanogeni è influenzata dalla temperatura: temperature molto basse, al di sotto di 10°C, implicano un'attività ridotta mentre temperature molto alte, superiori a 65°C comportano la morte dei batteri. L'attività dei batteri tuttavia aumenta all'aumentare della temperatura per cui per alte temperature, diventando la produzione di gas più rapida, risulta un minor tempo di ritenzione del materiale all'interno del digestore.

La temperatura ottimale per la maggior parte dei batteri metanigeni è di 35÷55°C; la temperatura deve essere inoltre il più possibile costante, in quanto i batteri metanigeni sono molto sensibili ad improvvise variazioni termiche.

Gli intervalli tipici di temperatura incontrati nei reattori di digestione anaerobica sono: il mesofilo, il termofilo, e lo psicrofilo. Quando si passa da un regime di temperatura ad un altro si osserva un vero e proprio cambiamento nella composizione della comunità batterica che presenta dei picchi in corrispondenza di ben definiti intervalli di temperatura, differenti per ciascuna specie. Una variazione di temperatura, all'interno di un certo intervallo, e, quindi, per una data popolazione, determina una variazione nelle velocità di reazione. Il sistema di riscaldamento adottato ha quindi la funzione di far fronte alle perdite di calore dovute all'immissione della biomassa e alle dispersioni che si hanno attraverso le pareti del digestore. Ne deriva la necessità di controllare con particolare la temperatura interna del reattore con due sistemi:

- ✓ riscaldamento dall'esterno; -
- ✓ riscaldamento dall'interno.

Nel primo caso viene sfruttata la radiazione solare per il riscaldamento della biomassa. I digestori sono nella parte inferiore sommersi, per evitare la loro esposizione al vento che farebbe aumentare le perdite di calore verso l'esterno, mentre la parte superiore, con bassa resistenza termica per permettere il passaggio del calore, è esposta alla radiazione solare.

Nel secondo caso riscaldamento dall'interno sono disponibili due diverse impostazioni tecnologiche.

### Serpentina interna

Prevede l'installazione di una serpentina all'interno del digestore attraverso la cui superficie di scambio, grazie alla circolazione di acqua calda, fornisce il calore necessario per la termostatazione.

### Scambiatore

Evita di coinvolgere l'interno del digestore e prevede la ripresa, tramite pompa, del materiale in digestione per riscaldarlo in uno scambiatore, in genere di tipo coassiale, esterno. È questa la soluzione tradizionalmente utilizzata negli impianti anaerobici per il trattamento dei fanghi di supero dei depuratori civili grazie alla possibilità di intervenire con operazioni di pulizia, e di eliminazione di eventuali incrostazioni, senza dover ricorrere allo svuotamento dell'impianto.

#### Altre soluzioni.

Alcuni costruttori propongono inoltre soluzioni particolari, integrate con le attrezzature di miscelazione, nel tentativo di meglio assicurare la costanza della temperatura in tutta la biomassa in fermentazione.

Nella pratica operativa sembra di poter constatare come, tra le varie possibilità, sia decisamente più diffusa quella che prevede l'utilizzo di una serpentina interna, generalmente realizzata in polipropilene reticolato, ma possibile anche in acciaio, collegata con il sistema di raffreddamento del cogeneratore. In ogni caso non vi sono particolari motivi che ostacolano l'utilizzo dello scambiatore esterno soprattutto quando il programma di alimentazione non prevede un tenore in solidi all'interno del digestore particolarmente elevato e quindi non sono ipotizzabili possibili intasamenti dovuti a tappi costituiti da biomassa grossolana. Questa soluzione è particolarmente agevolata nel caso si sia optato per la miscelazione idraulica.

### **Cenni sul Trattamento del biogas**

Il processo di digestione anaerobica condiziona fortemente la qualità del biogas. Le principali caratteristiche che possono influenzarne l'utilizzo sono:

- la **corrosività**, dovuta alla presenza di idrogeno solforato prodotto durante la digestione. La corrosione si manifesta soprattutto a livello delle parti a diretto contatto con il gas (tubazioni, contatori, gasometro, parte emersa del reattore, bruciatori, caldaie, cogeneratori), ma può interessare tutta l'area dell'impianto;
- la **condensa** di vapore acqueo prodotto all'interno del digestore e trasportato dal biogas. La condensa può accumularsi nelle tubazioni e occluderle o essere trasportato fino alle utenze e causare danni anche consistenti.

Per proteggere l'impianto e ridurre le cause di fermo macchina è importante inserire nella linea di processo una sezione di pulizia del biogas che preveda:

- la **filtrazione**, per eliminare i solidi in sospensione che sono essenzialmente materiale organico, grassi ed eventuali schiume;
- la **deumidificazione**, per eliminare in modo drastico l'umidità (attraverso l'uso di scambiatori accoppiati ad un gruppo frigorifero) evitando così la formazione di condense in camera di combustione;
- la **desolfurazione** può essere fatta:
  - tramite filtri chimici riempiti con ossidi di ferro, i quali provocano la precipitazione dei composti e quindi la loro estrazione;
  - tramite torri di lavaggio che lavano il gas in controcorrente tramite un flusso di acqua e ossido ferrico;
  - biologicamente, immettendo direttamente nel digestore una percentuale di aria, circa 0,6-1% nel duomo del digestore, per consentire a particolari ceppi batterici di innescare una reazione di precipitazione biologica dello zolfo.

## Il gasometro

È un elemento indispensabile per raccogliere temporaneamente il biogas prodotto in attesa di una sua utilizzazione nel cogeneratore o per essere bruciato in torcia.

Diverse sono le soluzioni possibili anche se poco frequente è il ricorso alla classica soluzione a campana utilizzata tradizionalmente negli impianti di tipo civile.

Le soluzioni più diffuse prevedono l'utilizzo di membrane flessibili fissate sulla sommità del digestore o disposte a terra, sotto tettoia.

Nel primo caso, di norma, si prevede l'utilizzo di una doppia membrana.

La prima, resistente agli agenti atmosferici, ha la funzione di protezione e può essere mantenuta in tensione sia tramite una struttura verticale, sia grazie all'insufflazione di aria, mentre la seconda, interna, ha vera e propria funzione gasometrica.

In alcuni casi, in combinazione con l'inserimento di una copertura coibentata lignea del digestore, viene utilizzata una sola membrana elastica in gomma (Epdm) che consente, alla semplice osservazione, di verificare la quantità di biogas disponibile. In ogni caso, sono soluzioni che prevedono pressioni di esercizio molto basse, dell'ordine di 1,5-2 mmbar, per cui per l'utilizzo del biogas nel cogeneratore è necessaria la ripresa con un'adeguata soffiante.



Il funzionamento delle utenze allacciate al biogas deve essere continuo mentre il diagramma della produzione può subire delle variazioni temporali. E' dunque necessario avere un sistema di accumulo con un volume in grado di equalizzare le fluttuazioni di produzione in modo da non dover fermare le macchine o rilasciare gas in torcia.

Gli stoccaggi di gas, detti anche gasometri sono a volume variabile e bassa pressione che può essere variabile o costante. Si distinguono gasometri rigidi e flessibili.

I gasometri rigidi hanno un interesse storico e possono essere di due tipi:

- *A guardia idraulica*, che presenta una vasca piena d'acqua ove è completamente immersa una campana metallica. Il gas viene sospinto sotto la campana e con la sua pressione ne determina il sollevamento. Affinché la campana emergendo non sia soggetta a sbandamenti, è munita di carrucole che scorrono su guide fisse in metallo. La tenuta del gas è realizzata idraulicamente in corrispondenza della giunzione dei due elementi.
- *A secco*, costituito da un serbatoio cilindrico verticale, chiuso inferiormente da un fondo metallico a tenuta e coperto superiormente da un tetto antipioggia. All'interno del serbatoio scorre verticalmente un diaframma pari alla sezione del gasometro, opportunamente guidato da una serie di rulli e provvisto di un sistema costituito da una guarnizione in gomma a tenuta di gas.

I gasometri flessibili sono i più usati in quanto hanno diversi vantaggi:

- si prestano ad essere posizionati sopra al reattore risparmiando un manufatto;
- permettono una facile accessibilità;
- si adattano a geometrie preesistenti.

### **Gli accumulatori presso statici**

Gli accumulatori presso statici per biogas devono essere costruiti in tessuto gommato con inserto tessile di idonea fibra sintetica. La gomma utilizzata deve rispondere ai requisiti prescritti dalle norme riguarda in particolare:

- tipo di gomma;
- caratteristiche meccaniche;
- resistenza a bassa ed alta temperatura;
- resistenza agli agenti atmosferici;
- resistenza ai liquami organici;

- permeabilità al biogas;
- la formazione di cariche elettrostatiche.

Possono essere di due tipologie differenti:

A membrana semplice: costituito da un telo plastificato copre il di gestore ed è ancorato al calcestruzzo della struttura. E' necessaria una struttura che impedisca alla membrana di immergersi nel reattore in assenza di gas, è prassi proteggere questa membrana con una copertura sempre in materiale plastico ben teso per evitare il contatto fra il gasometro vero e proprio e la parte esterna. Lo si potrebbe definire un gasometro a secco in materiale plastico. La pressione però non può essere costante.



**Figura 7** – Gasometro a torre.

Si notino la tettoia, la recinzione di protezione e la valvola di sovrappressione.



**Figura 8** – Gasometro con una semplice membrana elastica in gomma (Epdm)

A doppia membrana: Il serbatoio gas a doppia membrana è autoportante in quanto la membrana interna, flessibile, forma con il fondo il serbatoio di gas a volume variabile e, con la membrana esterna tesa, la camera di regolazione della pressione. Una soffiante, collegata mediante un tubo flessibile di alimentazione dell'aria, crea la necessaria pressione per il gas. La stabilità della membrana esterna rispetto alle sollecitazioni esterne è assicurata dalla pressione all'intercapedine di regolazione mantenuta dalla soffiante. Consente di avere il biogas alla pressione di utilizzo dei bruciatori, evitando l'installazione di un compressore.

Se il gas prodotto è maggiore di quello consumato si ha un aumento di volume nella camera del gas ed una riduzione di volume della camera di regolazione della pressione. In caso di consumo di gas maggiore rispetto alla produzione, la soffiante fornisce nella camera di regolazione il volume d'aria corrispondente al gas consumato in modo da mantenere una pressione pressoché costante. La valvola di sicurezza impedisce che si crei all'interno della camera del gas una pressione eccessivamente pericolosa.



**Figura 9** – Copertura gasometrica con doppia membrana. Si noti la membrana di protezione.

Le tubazioni di collegamento degli accumulatori al resto dell'impianto devono rispettare le norme previste per gli impianti di gas naturale a pressione minore di 5 bar.

Nel gasometro non devono formarsi sovrappressioni e quindi si deve avere una valvola di sicurezza che rilascia il gas in atmosfera attraverso la torcia quando la pressione supera valori di 800-1000 mmH<sub>2</sub>O: questo si ottiene attraverso una guardia idraulica il cui battente idraulico determina la pressione di sicurezza.

La guardia idraulica è coadiuvata da ulteriori dispositivi di sicurezza come presso stati e valvole di scarico. Analogamente alle sovrappressioni vanno controllate anche le sottopressioni con valvole di blocco dell'alimentazione. Appositi separatori di condensa devono essere installati in tutti i punti più bassi dell'impianto.

### Esempi di applicazioni impiantistiche

La tecnologia della digestione anaerobica è ormai una tecnologia consolidata e sviluppata in diverse configurazioni ottimizzate. Sono state individuate alcune aziende qualificate e specializzate nazionali ed europee [10] attive sul territorio italiano nel settore della fermentazione anaerobica che progettano, producono o semplicemente assemblano e installano impianti di biogas. Si ritiene utile, per un approccio pratico nel settore della digestione anaerobica, avere indicazioni sugli sviluppi tecnologici. A tale scopo saranno descritte nel seguito alcune soluzioni proposte dalle stesse aziende costruttrici di impianti.

## MT-ENERGIE<sup>2</sup>

La MT-ENERGIE è un'azienda costruttrice di impianti di digestione anaerobica che propone, tra le tecnologie brevettate, una tipologia di costruzione a doppio stadio a funzionamento continuo, applicata a matrici vegetali, che garantisce tempi di ritenzione adeguati e rende possibile il raggiungimento della massima produzione di gas.

Gli impianti a doppio stadio sono composti da un fermentatore, un post-fermentatore e un serbatoio per i residui. La costruzione di un post-fermentatore e di un serbatoio residui, entrambi coperti, ci permette di **incrementare la resa di gas di un'ulteriore 20%**, e aumentare la stabilità del processo biologico. Infatti, eventuali irregolarità del processo biologico nel fermentatore possono essere compensate tramite il ricircolo del substrato dal post-fermentatore.

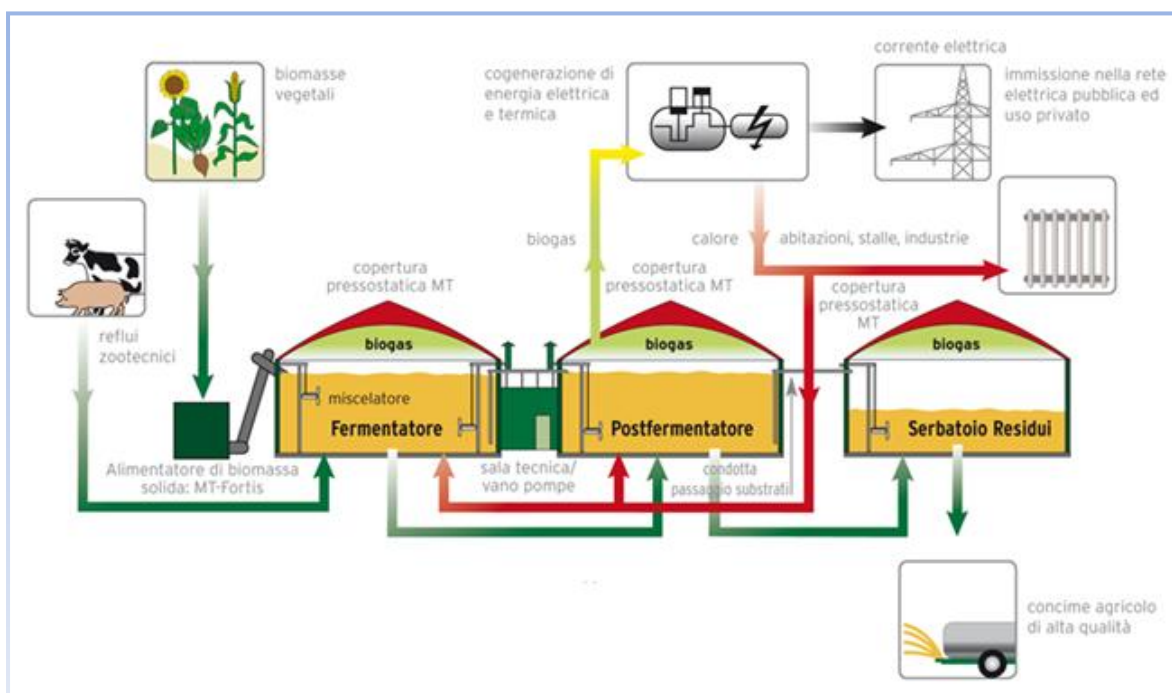


Figura 10 – Schema di funzionamento di un impianto biogas MT a doppio stadio con cogenerazione

A differenza di un impianto a doppio stadio di tipo classico, sia nel fermentatore che nel post-fermentatore vi sono le stesse condizioni ambientali per i batteri (pH neutro 6,7-7,5). Il processo di digestione anaerobica è di tipo mesofilo e avviene a una temperatura costante di 40-42°C. Le vasche sono costruite in cemento armato e vengono ricoperte con lamiera grecata in alluminio. Per riscaldare la biomassa viene installata una fascia di tubi posti nella parte interna del digestore.

<sup>2</sup> <http://www.mt-energie.it/>

Per la desolfurazione biologica del biogas viene installata una rete posta sulla parte superiore delle vasche che serve come superficie di supporto per la colonizzazione dei batteri. Con questa semplice soluzione si evita l'installazione di costose tecnologie di desolfurazione esterna.

La sala tecnica viene costruita tra il fermentatore e il post-fermentatore. Questo spazio viene utilizzato come stanza di lavoro e rappresenta il cuore dell'impianto di biogas. Al suo interno infatti si trovano i sistemi di controllo quali: il compatto sistema di pompaggio MT di propria produzione, il quadro elettrico ed il software di comando tramite PC.

### **BIOMASSE ENERGIA srl**

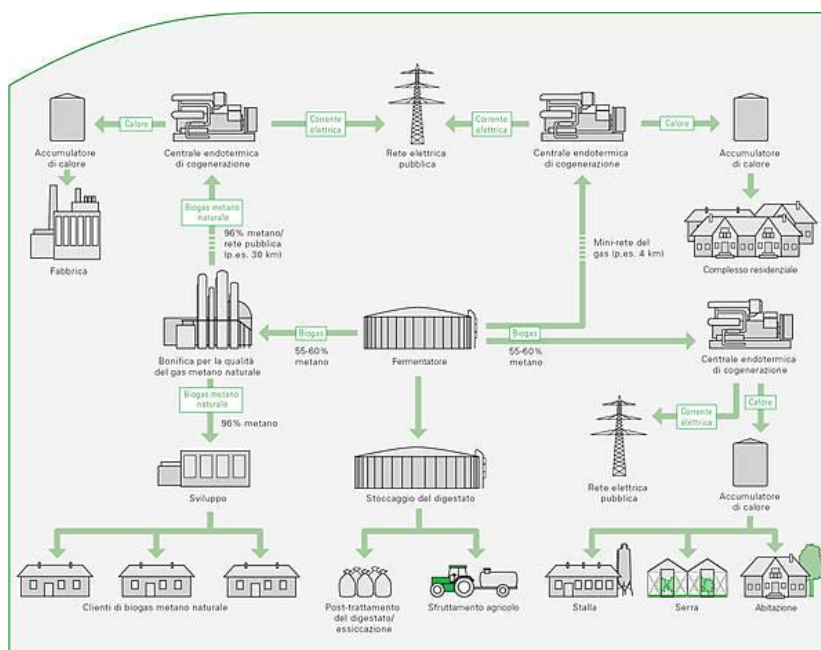
Il processo biologico utilizzato da Biomasse Energia srl è un processo ad umido in continuo che porta alla eliminazione degli odori ed alla formazione di un ottimo fertilizzante agricolo da cui l'azoto in eccesso è facilmente rimuovibile con un impianto di denitrificazione.

I fattori che ottimizzano il processo di digestione anaerobica e quindi le rese dei materiali sono l'omogeneizzazione, il carico organico, la temperatura, il grado di umidità, il tempo di ritenzione, la disponibilità e il mix delle sostanze organiche in ingresso all'impianto.

### **ENVITEC**

Gli impianti EnviTec soddisfano tutte le norme di sicurezza rendendoli idonei per una certificazione TÜV. Grazie a materiali affidabili e tecnologie sicure, innovative e standardizzate gli impianti EnviTec garantiscono i seguenti vantaggi:

- Tempi di realizzazione più corti;
- Costi d'investimento ridotti;
- Costi minimizzati per l'ordinaria manutenzione o eventuali riparazioni;
- Possibilità di uno stoccaggio centralizzato di tutti i pezzi di ricambio di vitale importanza per un'operatività ininterrotta;
- Alta sicurezza di gestione e tempi di avviamento ridotti.



La pesatura al chilo dei substrati di alimentazione e la tecnica di pre-miscelazione, che omogeneizza ed amalgama intensamente le biomasse, garantisce una sicura gestione della biologia all'interno del digestore. La pre-miscelazione liquida ha, inoltre, il vantaggio di evitare il fenomeno di galleggiamento del percolato.

Da gran parte di sostanza organica consumata dai batteri viene prodotto il biogas. Dopo la fermentazione e la stabilizzazione anaerobica del liquame e delle colture agricole rinnovabili, il digestato viene processato attraverso un separatore della parte solida da quella liquida. Nel solido rimane una grande parte del fosforo residuo dal digestato, che può essere utilizzato come ammendante agricolo.

Il resto del liquido viene poi sottoposto ad un processo di ultrafiltrazione, durante il quale le piccole particelle vengono isolate e coagulate. Dopo tale processo, nel liquido rimangono solo sostanze in sospensione. Tali sostanze nutritive sono l'azoto ed il potassio. Questa frazione liquida viene poi sottoposta ad un terzo trattamento di osmosi inversa, durante il quale l'acqua viene separata dalle altre sostanze per mezzo di una membrana. Il risultato di ciò è acqua pulita. Le sostanze che non passano le membrane vengono concentrate ottenendo un concentrato di azoto potassico, che può essere utilizzato per fertilizzare i terreni.

Vantaggi del post trattamento:

- Riduzione delle emissioni;
- Produzione di concentrati nutritivi;
- Produzione di sostanze per la bonifica del terreno;

- Ottimizzazione dello spargimento delle sostanze nutritive;
- Ottenimento di acqua pura;
- Riduzione dei volumi di stoccaggio del digestato;
- Riduzione dei costi di trasporto.

EnviTec finora ha già realizzato oltre 15.000 vasche in tutta Europa. Gli elementi in cemento precompresso vengono prodotti in serie riducendo i tempi di pianificazione e di realizzazione.

EnviTec realizza opere su misura orientate alle esigenze del cliente, vasche di varie dimensioni e capienze che possono variare da 200 a 20.000 m<sup>3</sup>. Il serbatoio di sistema offre varie configurazioni grazie alla sua modularità particolare. Può essere realizzato su terra oppure interrato, nonché su lievi pendii. L'alto grado di prefabbricazione permette un montaggio sicuro in tempi brevi.

### **BEKON**

Con il processo BEKON è possibile fermentare tutte le biomasse il cui contenuto di sostanze secche è inferiore o pari al 50%. Infatti, esso utilizza la così detta "fermentazione a secco" che permette di metanizzare le biomasse provenienti dall'agricoltura, dai rifiuti biologici e dalle superfici comunali, senza convogliare i materiali in un substrato liquido e pompato.

A seguito di un innesto di materiale già fermentato il substrato di fermentazione viene convogliato nel fermentatore tramite caricatrice a ruota. Il contenitore di fermentazione a forma di garage viene chiuso attraverso un portello a tenuta di gas. La biomassa viene fermentata sotto vuoto, e non vengono né mischiati né aggiunti ulteriori materiali.

Il percolato stillato dal bene fermentato viene prelevato attraverso un canale di drenaggio, immagazzinato temporaneamente all'interno di un serbatoio e poi spruzzato nuovamente sul substrato di fermentazione per inumidificarlo. Il processo di fermentazione si svolge ad una temperatura di circa 37°C, e la moderazione della temperatura avviene grazie ad un trattamento di riscaldamento del fondo e delle pareti.

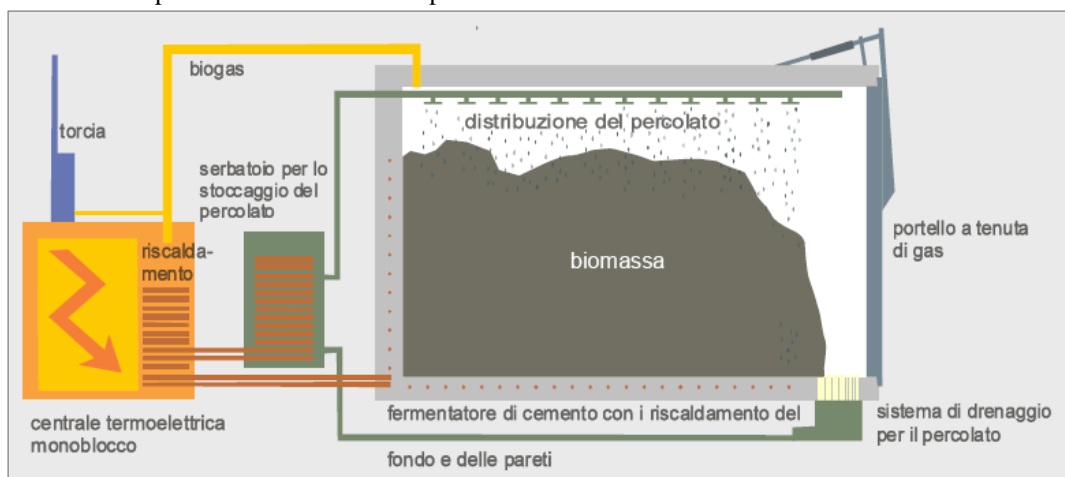
Il biogas che ne deriva viene utilizzato all'interno di una centrale termoelettrica monoblocco al fine di ottenere corrente e calore. Affinché il biogas a disposizione della centrale termoelettrica sia sempre sufficiente, all'interno dell'impianto di fermentazione a

secco vengono azionati più contenitori di fermentazione, i quali sono programmati secondo precisi intervalli di tempo.

Al termine del periodo di permanenza delle sostanze la camera di fermentazione viene svuotata completamente ed in seguito riempita nuovamente. Il substrato fermentato viene convogliato in una fase di compostaggio successiva, in modo tale da ottenere un composto convenzionale comparabile al concime organico.

La Figura 11 mostra il principio di funzionamento del processo “BEKON” brevettato.

**Figura 11** – Principio di funzionamento del processo BEKON



Il processo BEKON rappresenta un processo di fermentazione monofase con il funzionamento Batch, significa che le diverse reazioni derivanti dalla decomposizione (idrolisi, creazione di sostanze acide e di metano) avvengono tutte insieme in un fermentatore.

L'espressione “funzionamento Batch” descrive il principio di un processo all'interno del quale, durante la fase di fermentazione, non viene più modificata la presenza dei materiali, ovvero nessun materiale viene più aggiunto o eliminato. La biomassa inserita nel fermentatore rimane all'interno del dispositivo fino al termine del periodo di tempo prestabilito.

Al contrario dei processi a secco, la maggior parte dei procedimenti di fermentazione liquida è caratterizzata da un funzionamento (quasi) continuo, durante il quale vengono regolarmente prelevate piccole quantità di substrato gassoso per sostituirle attraverso materiali nuovi.

Nel caso della fermentazione “a secco”, il materiale da fermentare non viene rimescolato sotto forma liquida, come avviene invece nel caso della fermentazione liquida dei rifiuti



biologici. A differenza del procedimento a liquido, il substrato gassoso immesso nel fermentatore viene mantenuto ad una umidità costante; questa condizione di umidità è resa possibile poiché il percolato viene prelevato dal fondo del fermentatore e poi spruzzato nuovamente sulla biomassa. In questo modo si creano condizioni ottimali per la crescita e la riproduzione dei batteri. Durante il ricircolo del percolato è anche consentito regolare la temperatura ed è possibile aggiungere additivi per ottimizzare il processo.

Il vantaggio di questo funzionamento consiste nel fatto che non è necessario mescolare continuamente il materiale. Non occorre utilizzare né pompe né agitatori per immettere o espellere il substrato gassoso. Il materiale di fermentazione non deve necessariamente essere frantumato, e se sì, solo in maniera grossolana. In tal modo l'impiego di macchinari tecnici si riduce notevolmente rispetto all'impiego di impianti necessario per il procedimento di fermentazione liquida. All'interno dell'impianto in questione non sono presenti parti mobili.

Questo aspetto si ripercuote in maniera positiva sui costi di funzionamento dell'impianto, infatti, l'usura ed i costi di manutenzione sono ridotti ed il consumo energetico dell'impianto BEKON è notevolmente inferiore rispetto a quello di un impianto di fermentazione liquida.

La gestione del processo di fermentazione a secco permette di recuperare le biomasse ad alto contenuto di sostanze secche senza che il processo venga influenzato dalle sostanze nocive come pellicole, ed eventuali componenti legnosi e fibrosi.

I vantaggi del procedimento BEKON per la fermentazione a secco sono:

- Costruzione compatta e possibilità di ampliamento modulare;
- Tecnica robusta con modeste esigenze di manutenzione scarso dispendio di energia tecnico-meccanica;
- Minima presenza di pezzi mobili, basso livello di usura;
- Moderno controllo per mezzo di sistema di gestione processo;
- Basso consumo di energia nel processo di produzione;
- Vasto sfruttamento di gas ed alta qualità di gas;
- Utilizzazione di apparecchi già presenti (pale gommate, pale caricatrici frontali) per il caricamento;
- Scarsa instabilità dovuta a materiali indesiderati (come ad esempio plastiche legno o sabbia);

- Nessuna necessità di contenitori di magazzinaggio per substrato fermentato come per il procedimento a umido.



L'impianto BEKON si può integrare perfettamente in impianti di compostaggio già esistenti. Apparecchi già presenti (pale gommate, convertitori ecc.) possono essere utilizzati anche per l'impianto a biogas.



La fermentazione a secco rappresenta normalmente il primo stadio nel procedimento del compostaggio. In tal modo si evita anche lo sprigionamento di odori tipico della fase iniziale del processo di compostaggio (acidi grassi, ammoniaca ecc.). In questo modo lo sfruttamento del biogas contribuisce ad una riduzione dell'intensità degli odori sprigionati da un tipico impianto di compostaggio.

### **BIOTEC SISTEMI**

Biotec Sistemi sfrutta il così detto processo BTA, costituito essenzialmente da due fasi: il pre-trattamento e la digestione anaerobica.

Il pre-trattamento a umido è il metodo più efficace per separare la sostanza organica digeribile da quella non degradabile biologicamente. I rifiuti sono alimentati nel BTA®

Waste Pulper (costruito da Biotec Sistemi S.r.l. su licenza esclusiva) dove vengono miscelati con acqua. All'uscita si ottiene una sospensione organica omogenea, pompabile, con un tenore di solidi intorno al 10%, facilmente trattabile e digeribile. I materiali inquinanti (come plastica, tessili, pietre, ossa e metalli) sono efficacemente eliminati tramite uno scarico posto sul fondo del pulper e tramite un rastrello che "pesca" la frazione leggera che galleggia sulla superficie della sospensione all'interno della macchina.

Per liberare la sospensione così ottenuta anche dagli inerti fini, la si invia al BTA Grit Removal System, una particolare stazione di ciclonatura che permette di eliminare le sabbie che altrimenti provocherebbero usure eccessive e intasamenti nei macchinari a valle della sezione di pre-trattamento. Nella suddetta sezione non è necessario l'utilizzo di acqua fresca, dato che per lo scopo viene utilizzata l'acqua di processo, ricavata dai rifiuti stessi.

Per offrire soluzioni economicamente sostenibili e conformi alle diverse richieste, la fase biologica del processo BTA può essere realizzata in diverse configurazioni:

- Per impianti piccoli si utilizza normalmente un processo monofasico, che combina il pre-trattamento a umido con un processo di digestione anaerobica (mesofila o termofila) condotto in un reattore completamente miscelato (CSTR). All'uscita del Grit Removal System la sospensione viene alimentata direttamente nel digestore senza alcun passaggio intermedio.
- Per impianti di potenzialità superiore alle 100.000 t/a, si utilizza in genere un processo multifasico: la sospensione viene centrifugata per separare la frazione liquida da quella solida. La prima, contenente sostanza organica disciolta, viene alimentata direttamente nel metanizzatore, dove rimane per 2 giorni. La fase solida, contenente sostanza organica non disciolta, viene miscelata con l'acqua di processo e alimentata al reattore di idrolisi. Dopo 4 giorni la sospensione viene nuovamente centrifugata e la frazione liquida viene inviata al metanizzatore. La ripartizione del processo biologico (acidificazione, idrolisi e metanizzazione) su reattori diversi permette di operare in condizioni di crescita ottimali per i diversi microrganismi. Il risultato è un processo più rapido ed efficace con una conseguente maggiore resa in biogas. Alla fine del processo di digestione anaerobica, il residuo digerito viene, generalmente, mandato a una sezione di compostaggio aerobico.

Un'ulteriore possibilità è costituita da un processo bifasico, utilizzabile per impianti di media potenzialità. Il concetto è lo stesso del processo multifasico, ma non c'è fase di separazione solido/liquido. La sospensione viene alimentata ad un reattore di idrolisi

completamente miscelato cui è collegato, in serie, un altro reattore completamente miscelato. Per assicurare condizioni di idrolisi ottimali, parte del contenuto del digestore viene ricircolato nell'idrolizzatore. L'acqua in eccesso viene mandata ad un impianto di trattamento acque.

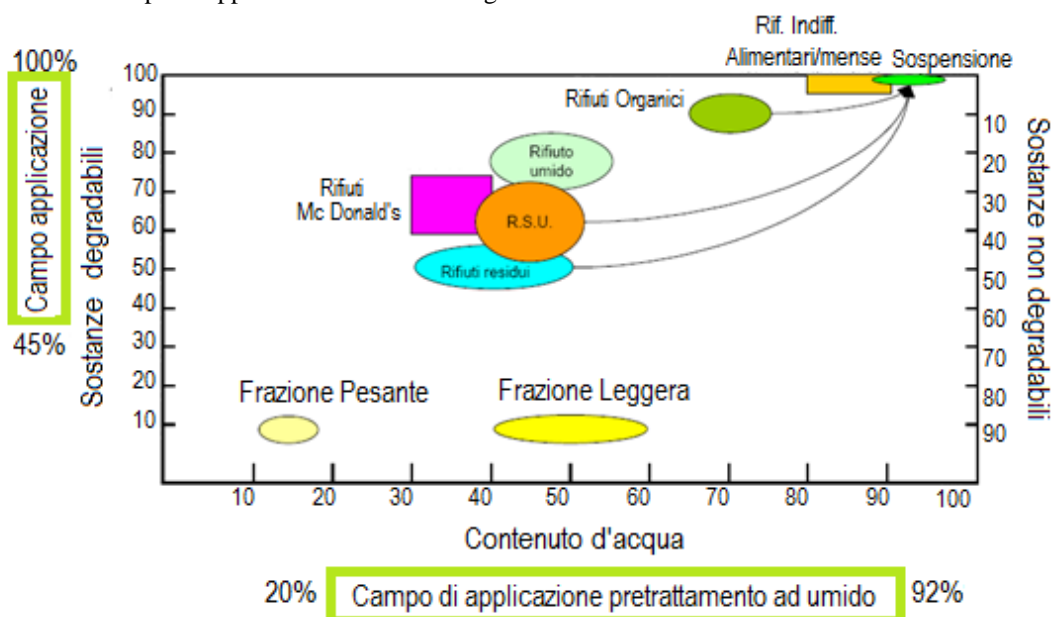
*Vantaggi del processo BTA:*

- Ampio campo d'applicazione (persino i rifiuti con un elevato contenuto di contaminanti o umidità eccessiva sono trattati facilmente);
- Alta flessibilità rispetto alla variazione (quantitativa) della composizione dei rifiuti;
- Sfibramento del materiale digeribile grazie a forze di taglio idrauliche;
- Adattamento della fase di processo a variazioni del materiale immesso;
- Totale rimozione efficiente ed automatica del materiale non biodegradabile (senza selezione manuale);
- Funzionamento affidabile dell'impianto;
- Lavoro in condizioni di estrema sicurezza e protezione grazie al processo totalmente automatizzato e chiuso;
- Area di ridotto ingombro;
- Assenza di emissioni di odori e ambiente pulito;
- Personale ridotto.

Il processo BTA è stato concepito per il pretrattamento e la digestione anaerobica di materiali di scarto contenenti sostanze organiche, quali i rifiuti urbani e industriali; le biomasse vengono trasformate, con alte rese, in biogas e compost di qualità. Le esperienze maturate fino ad oggi negli impianti pilota ed industriali realizzati dalla BTA dimostrano che sia i rifiuti solidi urbani che i rifiuti organici provenienti dalla raccolta differenziata nonché i rifiuti organici di origine commerciale come ristoranti, mense, mercati ortofrutticoli o industrie alimentari, i liquami zootecnici ed il silomais possono essere trattati con ottimi risultati con la tecnologia BTA. Il contenuto di umidità dei materiali trattati può variare dal 60% al 90-98%, il contenuto dei materiali non biodegradabili tra il 2% e il 50% (Figura 12). Questa flessibilità è stata raggiunta combinando il pretrattamento idromeccanico con la digestione anaerobica. L'idoneità della tecnologia a trattare scarti organici con caratteristiche molto diverse, producendo energia elettrica (da 100 kWh/t a 400 kWh/t) a partire da materiali con potere calorifico inferiore variabile da 20 kcal/kg a 1.000 kcal/kg rappresenta un sensibile vantaggio in confronto alle altre tecnologie

disponibili (combustione e compostaggio) che non possono trattare materiali in alimentazione con un alto contenuto di umidità ed hanno una bassa/ nulla efficienza di separazione dei materiali inquinanti.

Figura 12 – Campo di applicazione della tecnologia BTA



Il pretrattamento ad umido BTA è caratterizzato da una altissima efficienza di separazione dei materiali inquinanti non degradabili come plastica, tessili, pietre, metalli, sabbia etc. e viene utilizzato solo qualora il materiale in alimentazione all'impianto sia caratterizzato dalla presenza di materiali inquinanti (a titolo di esempio sottovaglio da RSU, FORSU, rifiuti alimentari scaduti).

Con il materiale organico presente nei rifiuti viene prodotta una sospensione omogenea al 10% di solidi totali (TS) che non varia al variare delle caratteristiche dei rifiuti in alimentazione. Tale sospensione ha caratteristiche fisiche omogenee ottimali per i successivi trattamenti garantendo il raggiungimento di un'affidabilità di impianto molto elevata.

Il pretrattamento BTA ad umido separa efficacemente gli inquinanti, concentra il materiale biodegradabile e lo sfibra per facilitare il processo di trasformazione in biogas ad opera dei batteri anaerobici. Persino materiali compositi come pannolini per bambini, tetrapak, rifiuti da fast-food, sottovaglio da RSU e da rifiuto residuo vengono trattati con successo.

La tecnologia utilizzata per la digestione anaerobica viene adattata alle esigenze specifiche degli impianti da realizzare.

Negli impianti di maggiori dimensioni vengono generalmente adottati trattamenti biologici multistadio ad alto rendimento che, separando i processi di acidificazione, idrolisi e

metanizzazione, consentono di mantenere le condizioni ottimali di crescita per tutti i gruppi di microrganismi. Queste versioni del processo di digestione anaerobica BTA permettono una degradazione elevata e molto rapida dei materiali organici con conseguente elevata produzione di biogas; la trasformazione della sostanza organica (solidi volatili [SV]) in biogas raggiunge valori fino al 60-70%.

Negli impianti più piccoli viene utilizzato un processo più economico costituito da una digestione monofasica (mesofila o termofila). La biomassa presente nei digestori viene mantenuta in agitazione utilizzando biogas compresso o agitatori meccanici a bassa velocità di rotazione. Queste soluzioni consentono di utilizzare i materiali organici ad alta umidità ed i rifiuti organici come fonte di energia rinnovabile anche per impianti piccoli e decentrati.

E' inoltre possibile integrare un impianto BTA con digestori già utilizzati per la digestione anaerobica di acque nere o liquami zootecnici, ottenendo una sensibile riduzione dei costi di investimento e di gestione.

Generalmente non è necessaria acqua fresca industriale per il funzionamento dell'impianto. Il bilancio dell'acqua è ovviamente funzione dell'umidità presente nel materiale da trattare, l'eventuale acqua in eccesso viene trattata in loco o è inviata in impianto di trattamento acque nere.

### **BLUE ENERGY CONTROL**

La soluzione della Blue Energy Control per le piccole medie aziende, così numerose e tipiche in Italia, si chiama Lilliput ed è il primo prodotto Minibiogas, creato e brevettato dalla Blue Energy Control: si tratta di un impianto di piccola taglia con potenza compresa tra i 25 e i 50 kW.

Lilliput può essere acquistato anche da una sola azienda e gestito, volendo, senza sottrarre biomassa dalla filiera alimentare. La formula del "tutto fatto in casa" è l'ideale per le aziende agricole italiane e per una cultura imprenditoriale improntata all'autonomia di scelta ed alla facilità di gestione.

Lilliput semplifica la vita all'imprenditore: può essere installato in circa 2 mesi con una semplice DIA e tempi di autorizzazione molto veloci. Lilliput cresce con l'impresa, trattandosi di un prodotto in massima parte preassemblato in maniera seriale in stabilimento, riduce notevolmente la manodopera per l'installazione, i tempi di collaudo e

le prove di funzionamento. Inoltre, è facilmente estensibile in caso di accresciuto fabbisogno energetico dell'impresa stessa.

### **EKO-TECNOLOGY**

La scelta tecnica effettuata da **Eko Technology** è stata quella di costruire un sistema di trasformazione delle frazioni organiche fermentabili mediante tecnologia di digestione anaerobica termofila ove i digestori sono tenuti a una temperatura di circa 55°C. Questa ottica ha fatto concepire il digestore anaerobico come un impianto decentrato di generazione di energia elettrica, garantendo nel contempo economicità, sicurezza e disponibilità di mezzi economici per gestire il processo produttivo. Il processo è così definito:

- Sistema ad umido con un contenuto di sostanza secca del 10 - 15% ed un rapporto carbonio/ azoto < 20;
- Processo in regime termofilo ( T= 55°C);
- Processo continuo con ricircolo;
- Digestori completamente miscelati;
- Tempi di stazionamento del substrato di circa 15-22 giorni;
- Controllo dei parametri di funzione e stabilità del processo attraverso un sistema di acquisizione automatico dei dati (PLC);
- L'azienda **Eko Technology** si è posta come obiettivo quello di aumentare l'efficienza complessiva dell' impianto anaerobico operando sui seguenti punti:
  - o Aumento dell' efficienza degradativa del sistema e aumento del tenore in metano nel biogas operando in regime termico termofilo;
  - o Utilizzo agronomico del separato solido di fine ciclo anaerobico, stabile e privo di odori nel rispetto della norma vigente che regola il suo spandimento in agricoltura;
  - o Riutilizzo delle acque provenienti dal depuratore biologico associato all'impianto anaerobico in fertirrigazione o utenze industriali.

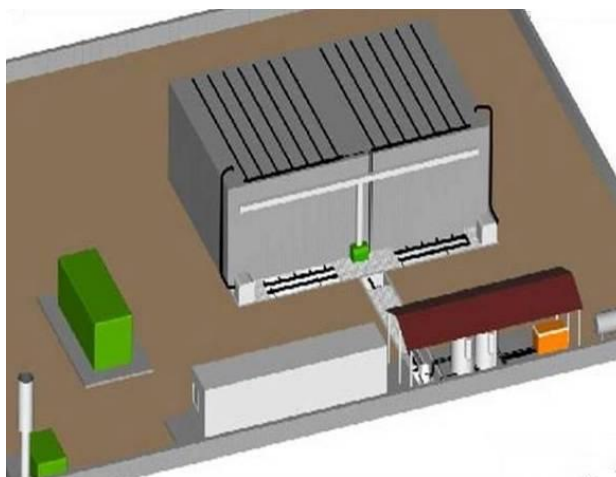
I vantaggi della digestione anaerobica "Termofila" sono:

- Riduzione della quantità di CO<sub>2</sub> complessiva per kWe prodotto con conseguente aumento del potere calorifico del biogas (tenore medio in metano del 75%);
- Migliore degradabilità anaerobica;
- E' possibile ridurre le dimensioni dei digestori senza diminuire la resa in biogas;

- Eliminazione dei patogeni (Salmonelle etc.) e quindi si rende superfluo l'impiego di trattamenti di disinfezione del prodotto di fine ciclo anaerobico;
- Maggiore presenza nel refluo da depurare di azoto in forma nitrificabile (in forma libera) e più rapidamente utilizzabile dalla flora batterica aerobica (eliminazione di pretrattamenti del separato-liquido di fine ciclo anaerobico);
- Bassa produzione di fanghi che risultano essere stabili ed igienizzati quindi privi di odori. Fango con caratteristiche concimanti definito "ad uso agronomico" , con azoto in forma fissata quindi rapidamente utilizzabile dalle piante.

### MESEFO

La tecnologia MESEFO (brevetto MPE, "MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A." del 1997) riguarda il recupero energetico del biogas da rifiuti organici differenziati, fanghi urbani ed industriali non tossici e/o nocivi e biomasse in generale in bioreattori statici.



*KNOW HOW MESEFO "Patented" - Schema di un impianto di compostaggio anaerobico con produzione di energia dalle biomasse*

Il processo consente una metabolizzazione accelerata e controllata del rifiuto per massimizzare la produzione di biogas, consentendo inoltre una riduzione significativa di volume e peso della massa trattata.

Il processo prevede la digestione stazionaria, in condizioni di termofilia, della matrice organica accumulata all'interno di digestori a tenuta stagna e senza movimentazione del materiale. Al posto di mantenere tutta la massa in agitazione, per consentire ai batteri metanigeni di espletare la propria funzione di produzione di biogas, gli stessi vengono veicolati mediante ricircolo di fluidi di processo. La matrice digerita viene infine valorizzata mediante integrazione in colture energetiche o ammendanti agricoli.

I principali vantaggi di questa tecnologia brevettata da **MPE** sono:

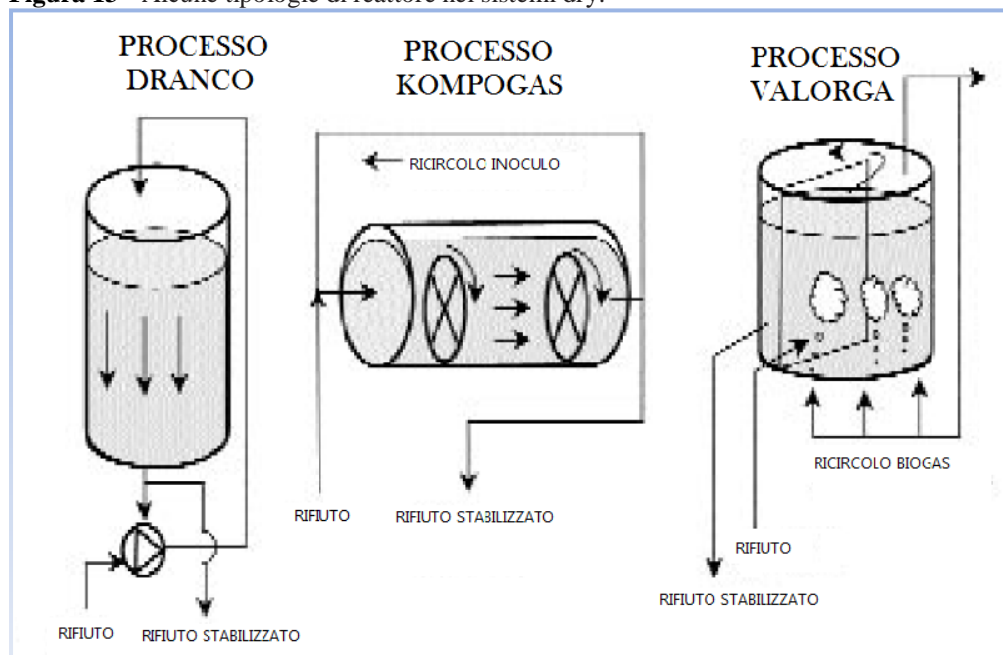


- è un processo robusto, semplice, affidabile;
- non richiede un costoso pretrattamento del materiale in ingresso come i tradizionali digestori in fase liquida (rimozione delle fibre lunghe, comminazione spinta);
- consente di utilizzare i rifiuti anche se contengono residui di plastica, legno ed altri materiali che saranno rimossi a fine ciclo;
- non richiede costosi serbatoi di accumulo del digestato (fase liquida in uscita dal digestore);
- bassissimo consumo energetico (inferiore al 5%);
- possibilità di controllo computerizzato e remoto;
- non richiede operatori esperti;
- disegno compatto dell'impianto a causa dell'elevata concentrazione di materie solide;
- utilizzo di macchine operatrici standard (ruspe);
- possibilità di costruzione modulare (i digestori sono affiancati e consentono espansioni successive dell'impianto);
- eccellente riduzione del peso e del volume del materiale trattato, che può essere compostato a fine ciclo previa vagliatura e separazione di eventuali materiali estranei.

L'ottimizzazione di questo processo per la specifica matrice del cliente avviene mediante prove su un reattore in scala semi industriale. E' possibile in tal modo definire tutti i parametri di processo per il trattamento ottimale della biomassa da trattare.

### TIPOLOGIE DI REATTORI NEI SISTEMI A SECCO

Figura 13 - Alcune tipologie di reattore nei sistemi dry:



Fonte: Vandervivere et al., 2001 [9]

Il sistema **Dranco**, sviluppato in Belgio, opera con substrati ad alto tenore di solidi ed in regime di temperatura termofilo; il substrato viene introdotto giornalmente all'estremità superiore del reattore ed il materiale digerito viene contemporaneamente rimosso dalla parte inferiore. Parte del digestato viene riciclato come inoculo mentre il restante viene sottoposto a trattamenti ulteriori (ad es. disidratazione) al fine di ottenere un prodotto utile sotto il profilo agronomico.

Non è presente alcun sistema meccanico di miscelazione all'interno del reattore e la sola miscelazione che avviene al suo interno è quella naturale che si origina dal movimento a pistone verso il basso del materiale caricatovi. Il contenuto di solidi totali dei substrati comunemente utilizzati varia nell'intervallo 20-40%, i tempi di ritenzione tra 15 e 30 giorni, la temperatura d'esercizio tra 50 e 58°C e le rese in biogas dichiarate tra 100 e 200m<sup>3</sup>/t di substrato alimentato.

Il sistema **Kompostogas**, sviluppato in Svizzera, che opera sempre con substrati ad alto tenore di solidi in regime termofilo, utilizza un reattore cilindrico orizzontale in cui il materiale viene introdotto giornalmente; il movimento del materiale all'interno è orizzontale a pistone e il materiale digerito viene rimosso dall'estremità opposta dopo circa 20 giorni. All'interno del reattore è presente un sistema di agitazione che mescola la massa in modo intermittente, favorendo la liberazione del biogas formatosi e la risospensione del materiale

inerte grossolano depositatosi sul fondo. L'esperienza accumulata con questa tecnologia ha dimostrato generalmente la massima efficacia con substrati aventi tenore di solidi intorno al 25%, in quanto tenori minori favoriscono la deposizione di frazioni pesanti mentre con tenori superiori viene ostacolato il flusso orizzontale del materiale all'interno del reattore. Il digestato ottenuto, di cui parte è utilizzato come inoculo, viene disidratato e ulteriormente trattato a fini agronomici.

Un altro processo dry, diffuso in centro Europa, è il processo **Valorga**, sviluppato in Francia, opera con substrati ad alto contenuto di sostanza secca (25-35%), con tempi di residenza compresi tra 18-25 giorni, in reattori di forma cilindrica in cui il flusso di materiale è di tipo circolare e il mescolamento entro il reattore è garantito dalla circolazione sotto pressione di parte del biogas prodotto attraverso una serie di iniettori ad intervalli di tempo prestabiliti. Generalmente la miscelazione viene effettuata in modo soddisfacente mediante ricircolo di solo biogas e non dell'effluente anche se, dato il posizionamento degli iniettori sul fondo del reattore, esiste la possibilità che si verifichino problemi di intasamento degli stessi. Anche con questa tecnologia è necessario trattare il rifiuto da digerire con acqua di processo al fine di raggiungere una concentrazione di sostanza solida intorno al 30%, evitando di raggiungere concentrazioni troppo basse che potrebbero causare accumuli eccessivi di materiale inerte sul fondo del reattore.

## TECNOLOGIA DI CONVERSIONE ENERGETICA DEL BIOGAS

Con 1 Nm<sup>3</sup> di biogas è possibile produrre mediamente 1,5-2 kWh di energia elettrica e 2-3 kWh di energia termica [11] Il Nm<sup>3</sup> (normal metro cubo) è l'unità di misura del volume usato per i gas, in condizioni "normali", ossia alla pressione atmosferica e alla temperatura di 0°C. Si usa anche per la misura del gas liquido.

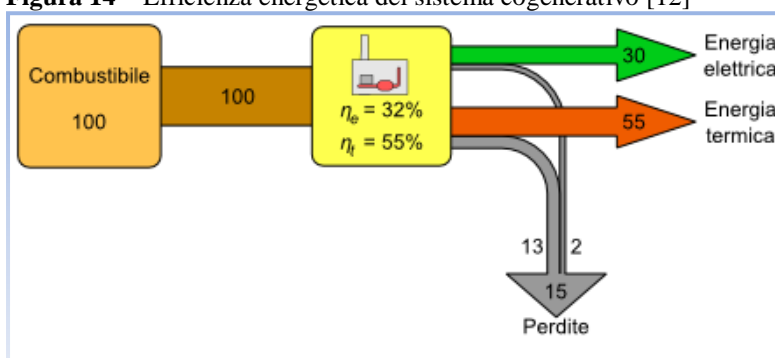
La trasformazione del biogas in energia utilizzabile in azienda può avvenire: per **combustione diretta** in caldaia (con produzione di sola energia termica); per combustione in **cogeneratori** per la produzione combinata di energia elettrica e di energia termica. Le potenze elettriche disponibili variano da 15 kW a oltre 1 MW, mentre i rendimenti vanno dal 20% circa ad un massimo del 42%.

Con il termine cogenerazione si intende la produzione contemporanea di energia elettrica (e/o meccanica) e termica attraverso un unico processo di generazione.

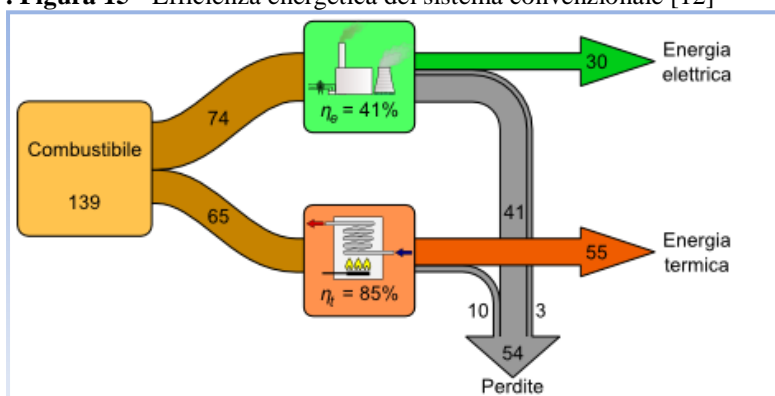
L'ottimizzazione energetica in unico processo di generazione (Figura 14) consente vantaggi rilevanti rispetto alla generazione delle stesse quantità di energia prodotte con processi separati (Figura 15).

Questo vantaggio risulta evidente dal semplice confronto riportato nelle due figure seguenti, in cui, a fronte di uguali quantitativi energetici da rendere disponibili presso le utenze termica ed elettrica, il sistema cogenerativo utilizza un quantitativo di combustibile inferiore (in molti casi anche in modo marcato) rispetto al quantitativo complessivo necessario per la generazione separata. Quest'ultima considera per l'elettricità il parco di generazione nazionale e per il calore un sistema di generazione locale di tipo convenzionale (caldaia tradizionale).

**Figura 14** – Efficienza energetica del sistema cogenerativo [12]



**Figura 15** - Efficienza energetica del sistema convenzionale [12]



Nella cogenerazione il calore prodotto dalle macchine per la generazione elettrica è recuperato, sotto forma di acqua calda o vapore o altro (es. olio diatermico, attraverso appositi sistemi di scambio), ed utilizzato sia come calore di processo (per processi industriali quali ad esempio l'essiccazione e il riscaldamento) sia per la climatizzazione ambientale.

Ulteriori cascami termici o esuberi di produzione termica possono essere utilizzati in macchine frigorifere ad assorbimento per la produzione del freddo o in unità di trattamento dell'aria. La produzione del freddo si può ottenere anche con sistemi frigoriferi a

compressione alimentati con l'elettricità prodotta dal sistema cogenerativo. Se si ha produzione contemporanea anche di freddo si parla di trigenerazione.

L'utilizzo di sistemi cogenerativi installati presso le utenze finali consente i seguenti vantaggi:

- elevata efficienza complessiva;
- bassi costi di manutenzione (variabili in funzione della tecnologia cogenerativa utilizzata);
- bassi livelli di emissioni complessive (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, ecc.);
- elevata affidabilità degli impianti dovuta alla maturità delle tecnologie CHP;
- indipendenza (parziale o totale) dalla rete elettrica, con conseguente riduzione delle perdite di produzione imputabili alle interruzioni nella fornitura elettrica;

Efficienza complessiva  $\eta_g$  del sistema cogenerativo

$$\eta_g = \eta_e + \eta_t = (E_e + E_t) / E_c$$

dove:  $\eta_e$  = efficienza elettrica =  $E_e / E_c$   
 $\eta_t$  = efficienza termica =  $E_t / E_c$   
 $E_e$  = energia elettrica prodotta  
 $E_t$  = energia termica prodotta  
 $E_c$  = energia contenuta nel combustibile consumato

Condizioni essenziali per una conveniente applicazione della cogenerazione sono le seguenti:

- contemporaneità di richiesta di energia termica (e/o frigorifera) ed elettrica, e/o possibilità di accumulo di caldo/freddo e scambio/vendita di elettricità alla rete;
- idoneo rapporto carico elettrico / carico termico delle utenze da abbinare all'indice elettrico (rapporto tra la potenza elettrica e la potenza termica generate dalla macchina);
- disponibilità commerciale di macchine di potenza corrispondente alla potenza calcolata che ottimizza il risparmio energetico.

Lo sfruttamento energetico del biogas è stato ipotizzato attraverso l'utilizzo delle seguenti tecnologie:

- **Motore a combustione interna**
- **Turbina a gas**
- **MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell)**
- **SOFC (Solid Oxide Fuel Cell)**

Il biogas, dopo essere stato **purificato a metano** al 95-98%, può anche essere utilizzato per autotrazione (tale uso del biogas non è attualmente incentivato in Italia, a differenza degli altri biocarburanti, quali biodisel e bioetanolo) e/o immesso nella rete di distribuzione del gas naturale.

## Motori

I motori a combustione interna di tipo alternativo rappresentano il mezzo più utilizzato per la produzione di energia elettrica tramite biogas; l'alta diffusione di questa tecnologia è stata resa possibile dalla compatibilità tra potenza ed economicità del progetto, di fatto la maggior parte degli studi di fattibilità mostrano economicità significativa del progetto per taglie di potenza comprese tra 1 e 3 MW ed i motori a ciclo otto presentano costi di impianto contenuti per tali range di potenza, inoltre i motori a combustione interna si presentano come una tecnologia matura ed affidabile sotto molti aspetti, offrendo così bassi costi di rischio per l'investimento stesso.

Ai vantaggi appena esposti si contrappone lo svantaggio delle emissioni inquinanti immesse in atmosfera, composti come  $\text{NO}_x$  e CO sono immessi in quantità molto elevate rispetto ad altre tecnologie.

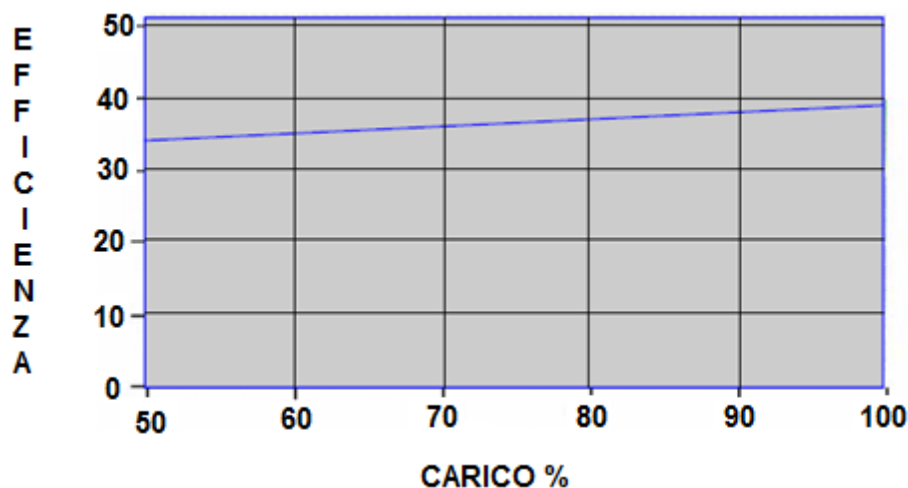
È opportuno precisare che il rendimento elettrico dei motori di qualunque tipo è generalmente variabile, con quello che è il carico di lavoro per cui lo stesso è progettato.

Se infatti quest'ultimo lavorasse con una potenza inferiore a quella di massima di regime, il rendimento scenderebbe di qualche punto percentuale. La manutenzione di un motore a gas è molto simile a un motore generico: a intervalli regolari di circa 20-30 giorni lo stesso deve essere revisionato sostituendo eventualmente candele, catalizzatori dello scarico, filtri e altri componenti costituenti nonché l'olio motore; in più ha bisogno quasi giornalmente di controlli, mirati a valutarne il corretto funzionamento e/o a variarne opportunamente la potenza di lavoro tramite settaggi, questi ultimi necessari quando le condizioni di qualità e quantità di biogas varino improvvisamente producendo bloccaggi o addirittura spegnimenti.

C'è da aggiungere inoltre che questi motori non prevedono delle evoluzioni future molto incoraggianti, al contrario delle celle a combustibile che sono in fase di sviluppo.

Le prestazioni fondamentali di un motore a combustione interna dipendono anche dalla variazione del carico, infatti i dati tecnici di tabella successiva sono riferiti ad un carico di lavoro del 100%, mentre a carichi parziali il generatore presenta un calo dell'efficienza a causa della sua bassa flessibilità ad operare in modo efficiente a carico parziale.

Figura 16 – Efficienza dei motori in funzione del carico



### Bilancio termico

Del potere calorifico introdotto solo una parte viene resa disponibile all'albero come energia meccanica. La seguente tabella mostra una distribuzione delle perdite:

Tabella 23 – Distribuzione delle perdite

PERDITE	SOLO ENERGIA MECCANICA	COGENERAZIONE
Raffreddamento cilindri (acqua)	15%	12%
Raffreddamento stantuffi e lubrificante	5%	3%
Scarico	30%	25%
Resistenze passive (attriti)	7%	4%
Organi ausiliari (pompe e vari organi rotanti)	8%	6%
RENDIMENTI		
Energia meccanica disponibile	35%	35%
Energia termica disponibile	0%	50%
<b>Resa totale del sistema</b>	<b>25%</b>	<b>85%</b>

Fonte: <http://www.syngen.it/>

Risulta evidente che il recupero di calore da:

- a) scarichi
- b) raffreddamento
- c) olio

fa incrementare drasticamente l'efficienza del sistema anche con apparati di trasferimento del calore non sofisticati.

E' possibile utilizzare anche un motore diesel, in configurazione dual fuel, dove viene mantenuta l'alimentazione a gasolio per meno del 5% in modo che si possa accendere la miscela gas aria. In questo caso c'è un consumo ridotto ma continuo di gasolio. Questa soluzione può essere competitiva per utilizzare generatori commerciali di piccola taglia.

L'aspetto più delicato dell'utilizzo dei motori è la necessità di una manutenzione frequente e relativamente dispendiosa.

Una piacevole sorpresa tra i motori a combustione interna alimentati a gas sono senza dubbio i motori JENBACHER. Questi motori difatti presentano delle efficienze energetiche molto più elevate dei tradizionali motori a combustione (si arriva fino al 45% di efficienza elettrica) e contemporaneamente un impatto ambientale molto più ridotto con la possibilità di cogenerazione, di trigenerazione e, in alcuni casi, di quadrigenerazione.

Questi motori sono arrivati ad uno sviluppo tecnologico tale da far sì che gli stessi possano addirittura in futuro fare concorrenza, almeno in termini di efficienza energetica, alle celle a combustibile, in quanto a parità di rendimento totale (o leggermente inferiore) presentano dei costi che già attualmente sono nettamente più bassi.

Da un punto di vista commerciale la società austriaca JENBACHER AG è ormai da anni specializzata nella costruzione di motori industriali ad alto rendimento per la produzione di energia elettrica e termica. La particolarità dei motori Jenbacher consiste nell'impiego di Leanox, un sistema atto a massimizzare il rendimento e limitare nel contempo il più possibile la perdita di energia. Gli impianti di questa società tirolese sono largamente diffusi in tutto il mondo in vari settori.

I rendimenti dei motori dipendono essenzialmente dal tipo di alimentazione e dalle emissioni di sostanze inquinanti che si vogliono avere in uscita dal motore.

I motori si dividono, poi, in base alla loro potenza e alla loro possibilità di essere adoperati in maniera cogenerativa.

In generale, dunque, i sistemi di cogenerazione della Jenbacher sono caratterizzati da:

1. Elevata efficienza elettrica, attorno al 40 %;
2. Efficienze globali superiori al 90%;
3. Possibilità di generare caldo e freddo;
4. Emissioni di inquinanti molto contenute grazie all'applicazione del sistema brevettato LEANOX, che abbate le sostanze nella camera di pre combustione;
5. Design compatto e semplice;



6. Sistemi adatti ad ogni tipo di alimentazione, dal biogas delle discariche al biogas prodotto tramite digestione di reflui, dal metano al propanolo, dal gas naturale al gas da carbone;
7. Estrema sicurezza del sistema;
8. Costi di investimento bassi.

La possibilità di ottenere un buon recupero energetico del biogas è però regolata da altri parametri come il potere calorifero inferiore, e la concentrazione di sostanze dannose per il motore come H<sub>2</sub>S, composti del cloro e del fluoro.

**Tabella 24** - Requisiti tipici di un motore a gas [14]

Parametri	Range
Contenuto energetico	13-21 MJ/ m <sup>3</sup>
Variazione del contenuto energetico	0-2 MJ/ m <sup>3</sup>
Umidità	< 70-80%
H <sub>2</sub> S	< 500 ppm
Composti del Cloro e Fluoro	< 60 ppm

I limiti sui composti alogenati o contenenti zolfo devono essere accuratamente rispettati per prevenire danneggiamenti ai componenti del motore e per evitare di produrre, attraverso la combustione, composti più nocivi; nei casi in cui il sistema lavori con alte concentrazioni di inquinanti si può arrivare a rottura anche solo dopo 1000 ore di funzionamento.

L'efficienza del generatore dipende molto dalla qualità del gas che, nel caso si presenti bassa, causa problemi di funzionamento con una diminuzione delle prestazioni e in alcuni casi l'arresto del motore stesso; è da aggiungere inoltre che, essendo il potere calorifero del biogas minore del gas naturale, portate volumetriche maggiori dovranno essere inviate alla camera di combustione con un conseguente aumento delle emissioni di contaminanti.

Per quanto riguarda le emissioni inquinanti, i motori a combustione interna sono caratterizzati da un'elevata emissione di NO<sub>x</sub> e CO, idrocarburi e particolato ed inoltre il loro utilizzo causa un inquinamento acustico non poco rilevante che obbliga all'utilizzo di pannelli fonoassorbenti nel locale ospitante il generatore e di silenziatori per lo scarico.

### La Turbina a Gas

Le turbine a gas sono una delle tecnologie più utilizzate, dopo i motori a combustione interna, per lo sfruttamento energetico del biogas; il ridotto numero di applicazioni è

imputabile a perdite energetiche elevate rispetto ai motori a Ciclo Otto, con conseguenti basse prestazioni, specialmente se funzionanti a carico ridotto, inoltre il basso potere calorifero del gas biologico incide sulle prestazioni del generatore.

Il gas caldo utilizzato deve essere molto “pulito” (libero di particolato sospeso o di composti corrosivi) per evitare corrosioni alle parti in movimento. La tecnologia può essere applicata a patto che la percentuale di metano sia sufficientemente elevata (>60%) e molto stabile al fine di consentire una temperatura di combustione vicina a quella richiesta.

Le turbine a gas sono disponibili in taglie dai 1000kWe a 5000kWe sino a qualche decina di MW per impianti di grosse dimensioni e sono vendute in unità che comprendono un turbogeneratore costituito dal Turbo-gas e da un alternatore per la produzione di elettricità; l'impiego di questi generatori permette un recupero di energia termica di alta qualità sia dalla camera di combustione che dal calore residuo dei gas di scarico, tale da soddisfare i fabbisogni termici primari delle utenze.

Negli ultimi tempi è nata una nuova generazione di turbine a gas, le micro-turbine, caratterizzate da potenze dai 10 kW a qualche centinaia di kW.

Queste turbine operano con gli stessi principi delle turbine a gas, inoltre hanno la possibilità di utilizzare diversi tipi di combustibili, tra cui: gas naturale, biogas da digestione anaerobica, da impianti di trattamento e da reflui zootecnici, biogas da discarica, biogas da gassificazione della biomassa.

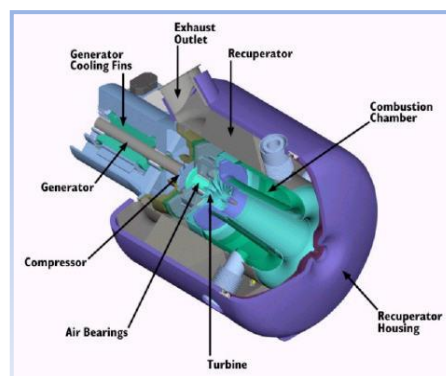
Il gruppo di generazione considerato è prodotto dalla “Capstone”, ed ha una potenza di 250 kWe nominali; alcune specifiche tecniche e prestazioni in esame sono riportate in tabella.

**Tabella 25** - Valori tipici della turbina Capstone

<b>Capstone Microturbine (LFG)</b>	
Potenza nominale kW	250
Efficienza elettrica(%)	30
Efficienza termica (%)	50
Emissioni ppm <sub>v</sub> - NOx	9--25
- CO	25--200
- HC	9--25

Fonte: [www.capstoneturbine.com](http://www.capstoneturbine.com)

**Figura 17** – Particolare turbina Capstone



Fonte: [www.capstoneturbine.com](http://www.capstoneturbine.com)

Sono sistemi compatti che presentano costi di investimento e manutenzione contenuti, alte efficienze e basse emissioni.

I requisiti per l'utilizzo di biogas in una turbina a gas in genere variano a seconda della turbina; la letteratura fornisce sull'argomento diversi parametri e diverse concentrazioni, per questo motivo nella tabella seguente si è deciso di riportare dei range di valori attendibili.

**Tabella 26** - Requisiti tipici di una turbina a gas

Parametri	Valore limite
H <sub>2</sub> S	45 ppm
Vapore acqueo	150 ppm
CO <sub>2</sub>	2,5%
Temperatura in ingresso	50°
Temperatura dei gas in uscita	65°

Fonte: [www.capstoneturbine.com](http://www.capstoneturbine.com)

La presenza di contaminanti, come da tabella precedente, causa non pochi problemi alle turbine e per questo è necessaria una rimozione; i composti contenenti zolfo ed i composti clorati hanno la caratteristica di interagire con la maggior parte dei metalli alle alte temperature di combustione provocando una forte usura delle parti meccaniche, mentre i composti azotati formano durante la combustione NO<sub>x</sub> e HCN; i tars e il particolato causano problemi a dovuti alla loro deposizione sulle parti meccaniche dei compressori della turbina.

### MCFC Celle a carbonati fusi

Le celle a combustibile sono sistemi elettrochimici capaci di convertire l'energia chimica di un combustibile (generalmente idrogeno o un idrocarburo gassoso) direttamente in energia elettrica. Questo processo avviene senza l'intervento di un ciclo termico intermedio, eliminando così le perdite di rendimento dovute alla trasformazione in energia termica e ottenendo pertanto rendimenti di conversione più elevati rispetto a quelli delle macchine termiche convenzionali. L'assenza di un processo di combustione comporta inoltre un miglior controllo delle emissioni inquinanti.

I principali requisiti posseduti da tale sistema, sono:

- Rendimento elettrico elevato, con valori che vanno dal 40-48% (riferito al potere calorifico inferiore del combustibile) per gli impianti con celle a bassa temperatura, fino a raggiungere oltre il 60% per quelli con celle ad alta temperatura utilizzate in cicli combinati;

- Possibilità di utilizzo di una ampia gamma di combustibili come metano, metanolo, gas naturale, gas di sintesi (prodotto da combustibili liquidi, gassificazione del carbone, biomasse);
- Modularità, che permette di accrescere la potenza installata via via che cresce la domanda di energia elettrica, con notevoli risparmi sul piano economico e con tempi di costruzione che possono risultare notevolmente ridotti;
- Efficienza indipendente dal carico e dalle dimensioni dell'impianto. Il rendimento delle celle è poco sensibile alle variazioni del carico elettrico, diversamente da quanto si verifica con gli impianti convenzionali. In pratica una cella può operare tra il 30 e il 100% di carico, senza perdite consistenti di efficienza. Il rendimento è inoltre indipendente dalla potenza installata entro un ampio intervallo di potenza, mentre negli impianti tradizionali il rendimento diminuisce al decrescere della taglia dell'impianto;
- Ridotto impatto ambientale, sia dal punto di vista delle emissioni gassose che di quelle acustiche, il che consente di collocare gli impianti anche in aree residenziali, rendendo il sistema particolarmente adatto alla produzione di energia elettrica distribuita;
- Possibilità di cogenerazione. Il calore cogenerato può essere disponibile a diversa temperatura, in forma di vapore o acqua calda, ed impiegato per usi sanitari, condizionamento di ambienti, ecc..

In particolare le celle a carbonati fusi impiegano un elettrolita costituito da una soluzione di carbonati alcalini, liquidi alla temperatura di funzionamento della cella (650°C) e contenuti in una matrice ceramica porosa; garantiscono rendimenti elettrici elevati (ottenute efficienze superiori al 45%, possibilità di arrivare al 60÷70% in cicli combinati con turbina).

Grazie all'elevata temperatura di funzionamento non richiedono la presenza di catalizzatori a base di platino o metalli preziosi e possono essere integrate in impianti ibridi in accoppiamento con turbine a gas e a vapore che sfruttano il calore recuperato dalla cella. Sono promettenti soprattutto per la generazione di energia elettrica e la cogenerazione da qualche centinaio di kW ad alcune decine di MW.

Nel seguito si farà riferimento unicamente a celle MCFC e ne verranno analizzate in maniera approfondita le caratteristiche.

Le reazioni che si verificano nelle MCFC sono:

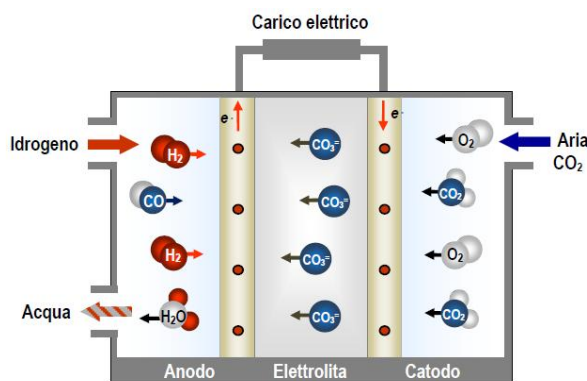
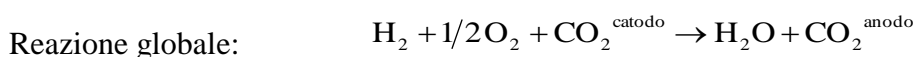
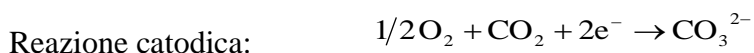
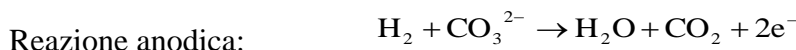


Figura 18 – Schema di funzionamento della MCFC [13]

Gli impianti con celle a combustibile richiedono l'integrazione di una serie di componenti. La cella necessita di un combustibile gassoso di opportuna composizione chimica, temperatura e pressione, produce energia elettrica in corrente continua ed espelle gas ad elevata temperatura: sono pertanto necessarie delle sezioni dedicate al fine di permettere l'utilizzo di un'ampia gamma di combustibili, garantire la connessione alla rete elettrica e di clean-up del combustibile nel caso di alimentazione con biogas.

Un impianto con celle a combustibile è costituito essenzialmente dalle seguenti sezioni:

- una sezione di trattamento del combustibile: per le celle ad alta temperatura questa sezione dell'impianto non è necessaria nel caso di alimentazione con H<sub>2</sub> e/o CO, mentre è necessaria nel caso in cui il combustibile deve essere purificato secondo le necessità imposte dal sistema cella-reformer, per poi essere sottoposto alla fase di reforming, eventualmente integrata all'interno del modulo con gli stack, al fine di ottenere un gas ricco di H<sub>2</sub> e CO, come richiesto dalle reazioni che avvengono nelle MCFC;
- una sezione elettrochimica, costituita dalle celle a combustibile;
- un sistema di condizionamento della potenza elettrica, che, tramite inverter, provvede a trasformare l'energia prodotta sotto forma di corrente elettrica continua, in corrente alternata di opportune caratteristiche;

- un sistema di regolazione e di recupero del calore, che può essere utilizzato all'interno dell'impianto (nel processo di reforming e/o per il riscaldamento del digestore anaerobico), e/o per utenze di cogenerazione e per il teleriscaldamento;
- un sistema di controllo, che assicura il coordinamento delle diverse sezioni dell'impianto.

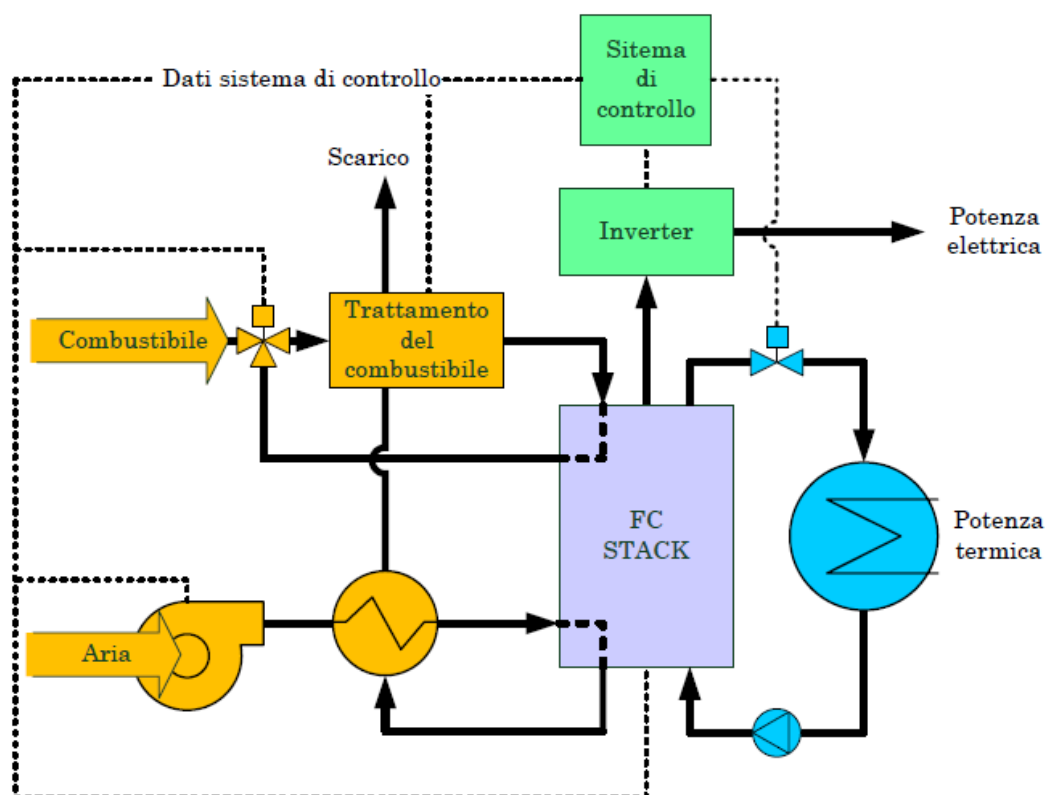


Figura 19 - Schema a blocchi di un impianto con celle a combustibile [6]

Il gas in uscita dai digestori anaerobici non può essere inviato direttamente al sistema reformer-celle a combustibile, ma necessita di una fase di trattamento al fine di riportare le concentrazioni dei contaminanti presenti entro i limiti di accettabilità di queste tecnologie. Le celle a carbonati fusi presentano tolleranze piuttosto restrittive nei confronti di alcuni composti, anche se, i limiti delle celle a bassa temperatura sono ancora più severi. Occorre, però, ricordare che questi valori, sebbene fondamentali per la decisione dei trattamenti del combustibile da intraprendere, non sono univocamente riconosciuti ed esistono anche dati in contraddizione.

Come si può osservare nella Tabella 27, le principali impurità contenute nei gas anodici (senza trattamenti) sono: composti dello zolfo, composti dell'azoto, alogeni, metalli alcalini, particolato ed idrocarburi superiori, ma anche tars (nel caso della gassificazione). Per ogni tipologia di inquinante è previsto un dispositivo particolare atto alla sua

rimozione. Il sistema di clean-up è fondamentale per il corretto funzionamento dell'intero sistema di produzione dell'energia elettrica. Infatti, esso determina la qualità del gas anodico, quindi, sia il suo contenuto energetico, sia la presenza degli inquinanti che possono deteriorare le prestazioni della cella fino a comprometterne completamente il funzionamento. L'aspetto sicuramente più svantaggioso è che il sistema di clean-up funziona bene in un'unica determinata situazione: variando anche un solo parametro (ad esempio la composizione in ingresso, la temperatura, la pressione, la cella, ecc...) si rende necessario cambiare anche le modalità di trattamento del combustibile.

**Tabella 27** - Tolleranze delle MCFC [15]

CONTAMINANTI	TOLLERANZE
Composti dello zolfo H <sub>2</sub> S	0,1 ppm (Steinfeld et al.,1998) 0,5 ppm (Fuel Cell Handbook,2002) 5ppm (Kawase et al.,2001) 0,3 ppm (Takanashi et al.,2002)
Composti dell'azoto NH <sub>3</sub> NO <sub>x</sub>	1% vol. (Fuel Cell Handbook) no effects with500 ppm (Kawase et al.,2001) 20 ppm (Kawase et al.,1999)
Alogeni HCl	0,1 ppm (Steinfeld et al.,1998) 0,5-1 ppm (Fuel Cell Handbook,2002) depending on the acceptable electrolyte loss (Kawase et al.,1999) 10 ppm (Takanashi et al.,2002)
Metalli alcalini	1-10 ppm (Lobachyov et al.,1998)
Particolato	100 ppm (Lobachyov et al.,1998)
Idrocarburi	Fuel

Uno degli ultimi risultati nello sviluppo della tecnologia MCFC è rappresentato dall'impianto della "Serie500", prodotto realizzato da *Ansaldo Fuel Cells S.p.A.*

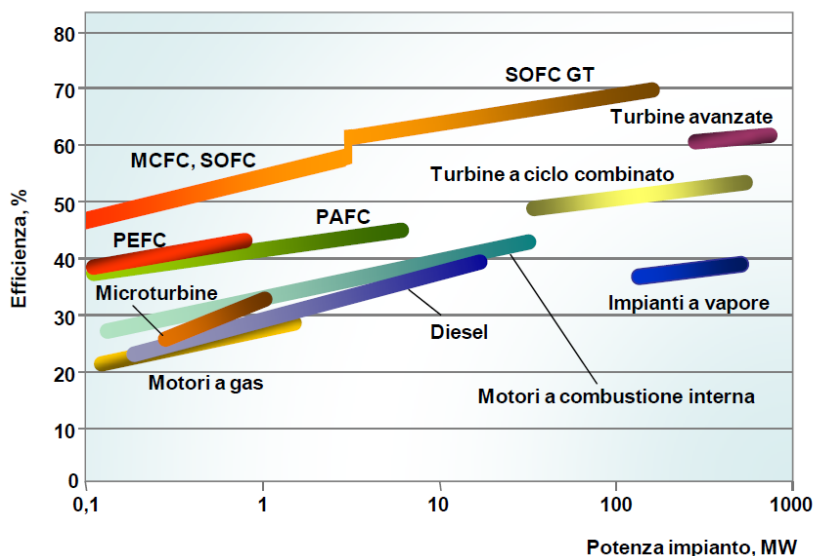
Il modulo Ansaldo nasce con una potenza nominale di 500kW, ma le caratteristiche di modularità permettono di costruire impianti con potenze superiori, raggruppando diversi moduli; l'obiettivo di questo prodotto è, infatti, quello di inserirsi nel mercato della generazione distribuita di energia elettrica con impianti di piccola e media taglia (da 250kW a qualche MW).

L'efficienza elettrica di questa tecnologia è molto elevata e può arrivare a valori del 50% (riferito al p.c.i. del combustibile), e se si tiene conto della possibilità di cogenerare si arriva a un rendimento globale di quasi il 90%.

Un'importante caratteristica energetica che differenzia le celle a combustibile da altre tecnologie è quella di presentare un'efficienza indipendente dal carico e dalle dimensioni dell'impianto (Figura 20), cosa che non accade per le altre tecnologie esaminate; in pratica

una cella può operare tra il 30 e il 100% di carico senza perdite consistenti di efficienza ed entro un ampio intervallo di potenza il rendimento è indipendente dalla potenza installata.

**Figura 20 - Confronto delle efficienze di differenti impianti** (celle a combustibile e generatori convenzionali) in relazione alla potenza



Fonte: ENEA 2008 [5]

**Tabella 28 - Caratteristiche della monocella Ansaldo ARI [16]**

DIMENSIONI	10 cm x 10 cm
ANODO	Nichel con cromo (spessore: 1/10 mm)
CATODO	Ossido di nichel litiato (spess.: 1/10 mm)
ELETTROLITA	Miscela di carbonati di litio e potassio
MATRICE	$\alpha/\gamma$ -LiAlO <sub>2</sub>
TEMPERATURA	650°C
PRESSIONE	Atmosferica

## SOFC

Le celle ad ossidi solidi operano a temperatura elevata (circa 900÷1000°C) per assicurare una conducibilità sufficiente all'elettrolita, costituito da ossido di zirconio drogato con ossido di ittrio, che alle alte temperature è un eccellente conduttore di ioni negativi dell'ossigeno. Essendo tutti i componenti allo stato solido, vengono eliminati i problemi di resistenza alla corrosione e di evaporazione tipici delle celle con elettrolita liquido.

Grazie alla temperatura elevata non sono richiesti requisiti particolari per il combustibile e si possono realizzare sistemi in cui, come nel caso delle celle a carbonati fusi, il combustibile (che può essere costituito da gas naturale, ma anche da biogas o gas da carbone) è direttamente inviato in cella, consentendo notevoli semplificazioni impiantistiche.



I limiti della tecnologia sono connessi al degrado dei materiali costituenti ed ai costi di produzione ancora elevati a causa degli attuali, complessi, processi di fabbricazione. Un ulteriore problema delle SOFC sono le elevate perdite ohmiche tra i componenti della cella.

Come le celle a carbonati fusi, sono promettenti soprattutto per la generazione di energia elettrica e la cogenerazione da qualche kW ad alcune decine di MW.

Le reazioni che si verificano nelle SOFC sono:

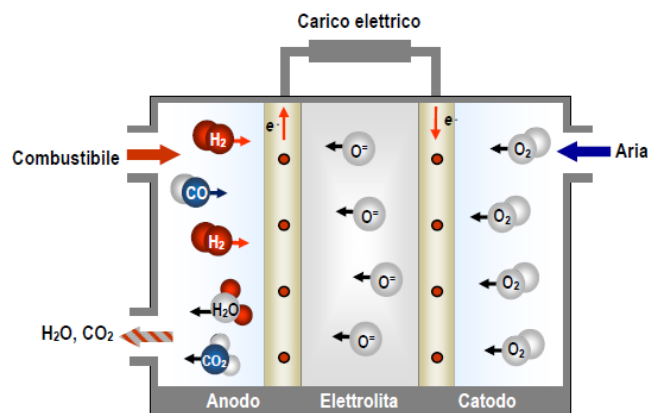
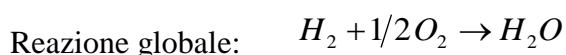
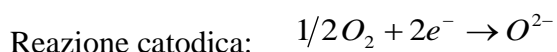
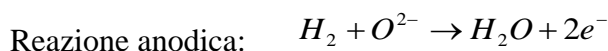
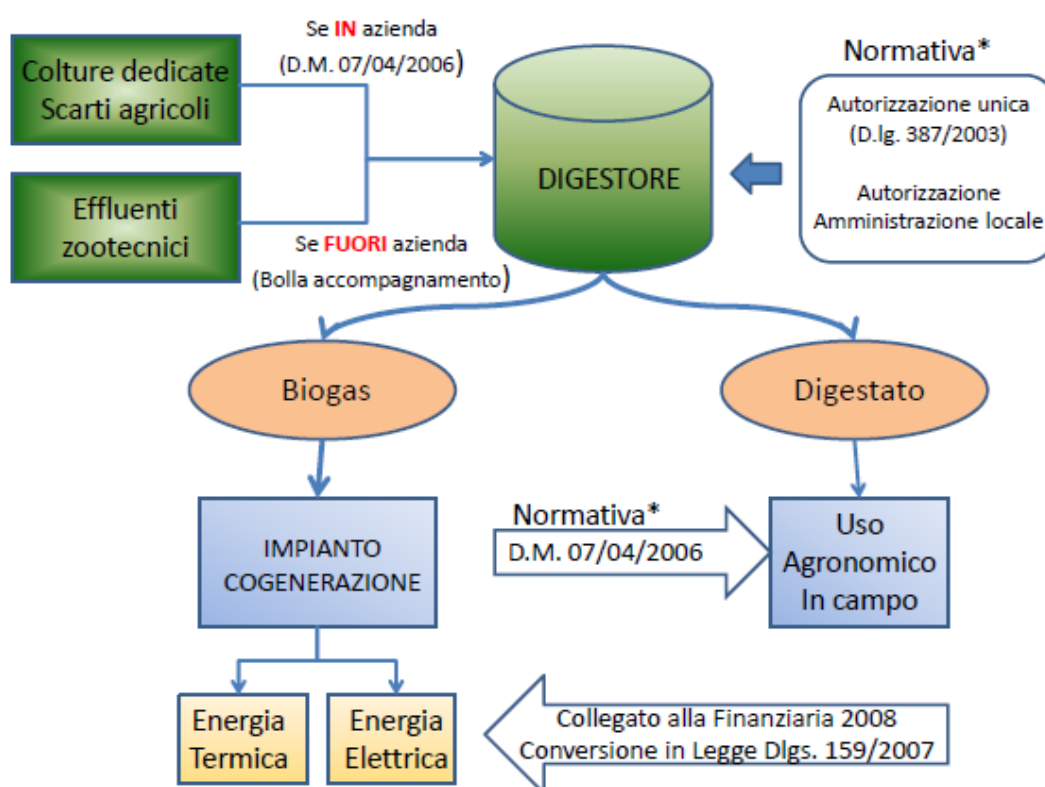


Figura 21 - Schema di funzionamento di una SOFC [13]

## RIFERIMENTI NORMATIVI PER UN IMPIANTO DI DIGESTIONE ANAEROBICA

La differente origine della biomassa introdotta in un impianto ne influenza profondamente l'ambito legislativo di riferimento. Il discorso è complesso e questo è attualmente uno dei principali problemi del settore, soprattutto per la continua evoluzione della normativa, soggetta a interpretazioni delle amministrazioni locali difficilmente prevedibili a priori; tutto ciò può modificare anche radicalmente la soglia di convenienza economica.



\*Si ricorda che nel momento in cui la materia prima stabilizzata nel digestore non sia di origine zootecnica si farà riferimento al Decreto legislativo 3 Aprile 2006 n°152

Uno degli obiettivi principali della politica dell'Unione europea nel settore energetico riguarda la promozione delle energie rinnovabili delineati in una comunicazione (COM(2004)366), adottata dalla Commissione il 26 maggio 2004, che si sostanziano nel conseguimento dell'obiettivo del 22% entro il 2010, fissato a livello nazionale in materia di consumo di elettricità prodotta da energie rinnovabili, e del 12% per la quota delle energie rinnovabili nel consumo globale di energia dell'UE.

Nel 1997 la Commissione ha adottato un Libro bianco (COM(1997)599) nel quale è stato definito un piano di azione volto a rafforzare la presenza delle energie rinnovabili nelle

diverse politiche dell'Unione al fine di ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub>, garantire una migliore competitività, aumentare la sicurezza dell'approvvigionamento, ridurre la dipendenza dalle importazioni e favorire la creazione di nuovi posti di lavoro.

In linea con il Libro bianco è stata successivamente adottata la direttiva 2001/77/CE concernente la promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili, con la quale l'Unione europea ha stabilito per ogni Stato membro gli obiettivi da raggiungere nell'ambito della suddetta produzione, al fine di raggiungere un aggregato pari al 22% di consumo di energia elettrica da FER (Fonti energia rinnovabili) al 2010. Per l'Italia è stato fissato un obiettivo di consumo interno lordo di elettricità da FER per il 2010 pari al 25%.

Il quadro legislativo nazionale fa inoltre riferimento alla Direttiva 96/92/CE. Le 2 Direttive sono state recepite nell'ordinamento italiano con i seguenti Decreti Legislativi:

- D. Lgs. n. 79/99
- D. Lgs. n. 387/03

In particolare, il Decreto Legislativo 79/99 introduce all'articolo 11 l'obbligo per i produttori e gli importatori di energia elettrica da fonte fossile di immettere, nel sistema elettrico nazionale, una quota di energia elettrica prodotta da fonte rinnovabile. L'obbligo può essere assolto sia attraverso la produzione, in proprio, della quota di energia elettrica da fonte rinnovabile, sia attraverso l'acquisto dell'equivalente quota o dei relativi diritti da altri produttori o dal GSE.

Il Decreto legislativo n. 387/03 definisce come fonti rinnovabili "le fonti energetiche rinnovabili non fossili (eolica, solare, geotermica, del moto ondoso, maremotrice, idraulica, biomasse, gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biogas). In particolare, per biomasse si intende la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali) e dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani".

Il sistema di incentivazione della produzione di energia rinnovabile prevede un meccanismo di mercato basato sui cosiddetti "**Certificati Verdi**", titoli emessi dal Gestore dei Servizi Elettrici (GSE, ex GRTN) che attestano la produzione di energia da fonti rinnovabili. I certificati verdi sono dei veri e propri titoli negoziabili sul mercato elettrico, emessi e controllati dal GSE, aventi lo scopo di incentivare la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili e attestanti la provenienza di tale energia da impianti

alimentati da fonti rinnovabili e la trasformazione in energia elettrica dei prodotti vegetali o dei rifiuti organici e inorganici.

Per avere diritto alla certificazione gli impianti devono essere qualificati dal GSE come Impianti Alimentati da Fonti Rinnovabili (IAFR).

Nel mercato dei Certificati Verdi, la domanda è costituita dall'obbligo per produttori e importatori di immettere annualmente una "quota" di energia prodotta da fonti rinnovabili rispetto a quanto prodotto e/o importato da fonti convenzionali nell'anno precedente. A partire dall'anno 2004 e fino al 2006, la quota d'obbligo è incrementata annualmente di 0,35 punti percentuali (*art.4 comma 1 del D.Lgs. 387/03*). L'offerta, invece, è rappresentata dai Certificati Verdi emessi a favore degli Operatori con impianti che hanno ottenuto la qualificazione IAFR dal GSE, così come dai Certificati Verdi che il GSE stesso emette a proprio favore a fronte dell'energia prodotta dagli impianti Cip 6<sup>3</sup>

I Certificati vengono concessi all'impianto qualificato per gli *8 anni conseguenti all'entrata in esercizio*, con la possibilità di ottenere per ulteriori anni nuovi certificati previo riammodernamento o ripotenziamento dell'impianto. Il prezzo dei Certificati Verdi è variabile e fissato di anno in anno in base agli incentivi concessi, e viene riconosciuto sulla totale produzione sia quella autoconsumata, sia quella ceduta.

I Certificati Verdi posseduti dal gestore di un impianto biogas e l'energia elettrica prodotta dallo stesso impianto *possono essere venduti separatamente* poichè i Certificati Verdi vengono pagati sul totale dell'energia elettrica prodotta dall'impianto, mentre l'energia elettrica che viene pagata è quella ceduta alla rete nazionale, che a sua volta usufruisce della condizione favorevole di priorità di dispacciamento poichè prodotta da fonti rinnovabili.

Il Certificato Verde è emesso dal Gestore della rete relativamente alla produzione netta da fonti rinnovabili dell'anno precedente, corredata da copia della dichiarazione di produzione di energia elettrica presentata all'Ufficio Tecnico di Finanza. Su richiesta del produttore, sono emessi da parte del Gestore della rete certificati verdi, relativi alla produttività attesa degli impianti nell'anno in corso o nell'anno successivo. Nel caso in cui l'impianto, per

---

<sup>3</sup> Gli "impianti Cip 6" sono quelli alimentati da fonti rinnovabili o da fonti a queste assimilate che godono di un particolare regime incentivante sulla base della legge n. 9 del 9 gennaio 1991, mirata a favorire la produzione di energia elettrica da soggetti terzi rispetto all'Enel, nel regime di monopolio precedente all'attuale regime liberalizzato

qualsiasi motivo, non produca effettivamente energia in quantità pari o superiore ai certificati verdi emessi, ed il produttore non sia in grado di restituire per l'annullamento i certificati verdi emessi, il Gestore della rete compensa la differenza trattenendo certificati verdi di competenza del medesimo produttore relativi ad eventuali altri impianti per il medesimo anno. La compensazione, in mancanza di certificati verdi per l'anno di riferimento, può essere fatta anche per due anni successivi.

Sulla base dei requisiti previsti dalla normativa succitata, il GSE ha sviluppato **una Procedura Tecnica per la Qualificazione IAFR**, nella quale sono previste le modalità di presentazione delle domande e dei principali allegati tecnici. Successivamente una apposita Commissione di Qualificazione provvede all'esame della domanda e quindi al riconoscimento della qualifica **IAFR**. L'elenco degli impianti qualificati, sia in esercizio che in costruzione, è pubblicato annualmente dal GSE.

Secondo la Delibera n. 42/02, i Produttori che intendano avvalersi dei benefici di legge devono dichiarare ogni anno al GSE le quantità di energia elettrica e calore prodotte durante l'anno solare precedente, e la quantità di energia primaria consumata per produrle. Le dichiarazioni devono essere accompagnate da informazioni tecniche riguardanti l'impianto, quali: schema di funzionamento, taglie del macchinario, metodi di misura impiegati e altre ancora. Sulla base di tali dati, il GSE verifica che gli indici IRE e LT siano superiori ai rispettivi valori minimi.

La Legge Finanziaria 2008 (art.2, commi da 144 a 154) e la successiva Legge 99/09 (Art.42) hanno introdotto ulteriori significative novità per gli impianti entrati in esercizio in data successiva al 31 dicembre 2007.

Per il periodo 2007-2012 la quota obbligatoria di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili a carico dei produttori che impiegano fonti fossili è stata incrementata annualmente dello 0,75% (rispetto allo 0,35% in vigore fino al 2007). Pertanto essa assume annualmente i seguenti valori:

ANNO	Quota dell'obbligo (%)
2007	3,8
2008	4,55
2009	5,3
2010	6,05
2011	6,8
2012	7,55

Per gli impianti da fonti rinnovabili di potenza elettrica superiore a 1 MW, il periodo di validità dei Certificati Verdi è stato esteso a 15 anni. I Certificati Verdi hanno un valore unitario pari 1 MWh e vengono emessi dal GSE per ciascun impianto a produzione incentivata, in numero pari al prodotto della produzione netta di energia elettrica da fonti rinnovabili moltiplicata per un coefficiente, riferito alla tipologia della fonte.

I Certificati Verdi sono collocati sul mercato a un prezzo pari alla differenza tra il valore di riferimento (180€/MWh) e il valore medio annuo del prezzo di cessione dell'energia elettrica definito dall'Autorità. Il valore di riferimento viene assicurato per 15 anni; lo stesso valore ed i coefficienti possono essere aggiornati ogni 3 anni, assicurando la congruità della remunerazione ai fini dell'incentivazione dello sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili.

I Certificati Verdi maturati in misura superiore a quella necessaria per assolvere alla quota d'obbligo, che col vecchio sistema restavano non incentivati, vengono ugualmente ritirati al prezzo medio dei Certificati Verdi registrato nell'anno precedente, fino alla copertura con fonti rinnovabili del 25% del consumo interno di energia elettrica e dei successivi aggiornamenti derivanti dalla normativa dell'Unione Europea.

Vista l'articolazione del meccanismo dei Certificati Verdi, che rischiava di allontanare dal settore molti produttori potenziali (in particolare le aziende agricole di media e piccola dimensione), la Legge Finanziaria 2008 ha introdotto un meccanismo di "conto energia" per gli impianti di potenza elettrica non superiore a 1 MW che, su richiesta del produttore, hanno diritto a una tariffa unica onnicomprensiva (T.U.O.), fissa per 15 anni a partire dalla messa in esercizio dell'impianto. Nel caso degli impianti a biogas, la tariffa fissa valida per i primi 3 anni (2008 - 2010) è stata fissata a 28 €/cent/KWh (Legge 99/09 art. 42 comma 6). La tariffa onnicomprensiva può essere variata ogni 3 anni, assicurando la congruità della remunerazione ai fini dell'incentivazione dello sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili.

In questo caso viene remunerata la produzione di energia elettrica immessa nel sistema elettrico, mentre qualora il produttore opti per i Certificati Verdi, la remunerazione si applica sulla produzione dell'impianto, indipendentemente dal fatto che questa venga ceduta in rete o meno.

Infine, è stata confermata la cumulabilità degli incentivi derivanti dall'applicazione della Tariffa Unica con altri incentivi pubblici. Infatti, «..per gli impianti, di proprietà di aziende agricole o gestiti in connessione con aziende agricole, agro-alimentari, di allevamento e

forestali, alimentati dalle fonti di cui al numero 6 della tabella 3 allegata alla presente legge, l'accesso, a decorrere dall'entrata in esercizio commerciale, alla tariffa fissa onnicomprensiva è cumulabile con altri incentivi pubblici di natura nazionale, regionale, locale o comunitaria in conto capitale o in conto interessi con capitalizzazione anticipata, non eccedenti il 40 per cento del costo dell'investimento» (Legge 99/09 art. 42 comma 8).

### **Procedure autorizzative**

Le opere per la realizzazione di un impianto IAFR sono definite “di pubblica utilità”. Pertanto, fermo restando il rilascio del Certificato Prevenzione Incendi di competenza del Servizio Antincendio del Ministero dell'Interno (Vigili del Fuoco), la costruzione e l'esercizio degli impianti di produzione di energia elettrica alimentati da fonti rinnovabili, gli interventi di modifica, potenziamento, rifacimento totale o parziale e riattivazione, nonché le opere connesse e le infrastrutture indispensabili alla costruzione e all'esercizio degli impianti stessi, sono soggetti ad un'Autorizzazione Unica Ambientale, rilasciata dalla Regione o altro soggetto istituzionale delegato da questa. Tale autorizzazione è rilasciata a seguito di un procedimento unico (della durata massima di 180 giorni), al quale partecipano tutte le amministrazioni interessate. Il rilascio dell'Autorizzazione costituisce titolo a costruire ed esercire l'impianto in conformità al progetto approvato. In deroga alle disposizioni di cui sopra la legislazione vigente (Legge 24 Dicembre 2007, n. 244 – Legge Finanziaria 2008 – Art. 2 Comma 158 punto g) prevede che “..... Ai medesimi impianti (di produzione di energia da fonti rinnovabili, ndr.) quando la capacità di generazione sia inferiore alle soglie individuate dalla tabella A allegata al presente decreto, con riferimento alla specifica fonte, si applica la disciplina della Denuncia di Inizio Attività di cui agli articoli 22 e 23 del testo unico di cui al decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, e successive modificazioni”. Pertanto nel caso del biogas, qualora la capacità di generazione sia inferiore a 250 kW e i prodotti utilizzati per l'alimentazione non siano classificati come “rifiuti”, le competenze in materia vengono ricondotte in capo ai Comuni dove è situato l'impianto, a cui deve essere presentata la Denuncia di Inizio Attività (D.I.A.).

Gli impianti IAFR di potenza inferiore ai 3MW sono attività considerate ad inquinamento atmosferico poco significativo ed il loro esercizio non richiede autorizzazione (D.lgs 387/03, Art. 12 commi 1 - 8).

Infine, il Dlgs 26/2007 indica chiaramente che “non sono sottoposte ad accisa le miscele gassose [...] di origine biologica destinate agli usi propri del soggetto che le produce”. Pertanto gli impianti di biogas di qualsiasi potenza non sono sottoposti alla normativa relativa alla cosiddetta “Officina Elettrica”

A carico dei gestori di rete è posto l'obbligo di legge di fornire al produttore, che richiede il collegamento di un impianto alimentato da fonti rinnovabili alla rete, le soluzioni atte a favorirne l'accesso, unitamente alle stime dei costi e della relativa ripartizione, in conformità alla disciplina definita dall'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas (AEEG).

### Digestato

Il principale riferimento legislativo italiano per l'utilizzo agronomico del digestato è costituito dal D.M. 07 Aprile 2006 "Criteri e norme tecniche generali per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento, di cui all'art. 38 del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152". In tale Decreto viene previsto che:

- il processo di trattamento anaerobico può essere affiancato alle linee di trattamento degli effluenti (individuate nella tabella 3 dell'allegato 1); tale processo, pur non determinando di per sé riduzioni significative del carico di azoto, consente tuttavia, soprattutto con l'aggiunta di fonti di carbonio, di ottenere un digestato a miglior valore agronomico ed una significativa produzione energetica in grado di sostenere maggiormente le stesse linee di trattamento elencate;
- il processo di trattamento anaerobico è tra le tecniche aziendali suggerite per ottenere il riequilibrio del rapporto agricoltura/ambiente (Parte A dell'Allegato III - Strategie di gestione degli effluenti zootecnici per il riequilibrio del rapporto agricoltura/ambiente)

Per quanto riguarda l'impiego di paglie, stocchi e residui vegetali in generale (in quanto assimilabili alla lettiera) non ci sono vincoli particolari.

Non rientrano nel campo di applicazione della parte quarta (gestione dei rifiuti) del D.Lgs.152/06 i rifiuti agricoli come materie fecali ed altre sostanze naturali e non pericolose utilizzate nell'attività agricola (art. 185, comma 1 lettera b).

Rimangono fatte salve le norme regionali per il riutilizzo agronomico dei liquami (es. D.G.R. Lombardia n. 3439 del 07.11.2006).



## CELLE A COMBUSTIBILE: PROSPETTIVE PER IL FUTURO?

La cogenerazione risulta essere una strategia molto importante per gestire i fabbisogni energetici degli utenti, infatti mediante tecnologie cogenerative ad alto rendimento vi è la possibilità di produrre contemporaneamente all'energia elettrica vapore, o acqua calda, o aria calda e nel caso si realizzi la produzione del freddo (Trigenerazione), mediante opportuni scambiatori di calore, sono garantiti ulteriori introiti grazie alla vendita delle frigorifiche.

La produzione di energia in impianti centralizzati di cogenerazione diffusi sul territorio consente, in aggiunta, di evitare perdite di rete che si verificano durante la distribuzione di energia elettrica dai grandi impianti e offre inoltre una maggiore sicurezza del sistema elettrico a livello generale.

La tecnologia delle celle a combustibile ad alta temperatura si adatta bene a rispondere ai requisiti necessari per realizzare un sistema cogenerativo, con il vantaggio di poter rispondere anche al fabbisogno di energia elettrica in modo più consistente rispetto alle attuali tecnologie.

Parallelamente con l'impiego delle celle a combustibile a carbonati fusi si otterrebbe una riduzione elevata delle emissioni acustiche ed inquinanti, e dei relativi costi indotti sull'economia, ambiente e sanità pubblica, senza trascurare l'importante contributo che lo sfruttamento del biogas comporta per la riduzione dei gas serra.

La ricerca procede senza sosta cercando di realizzare sistemi con costi d'installazione sempre più bassi ma la strada che porta al raggiungimento dell'obiettivo risulta ancora ardua. Come avviene per tutte le nuove tecnologie che cercano di imporsi sul mercato, anche per le celle ci si trova ad affrontare un circolo vizioso.

Per poter abbassare i costi d'installazione le case produttrici dovrebbero rispondere ad una richiesta in termini quantitativi, ma allo stesso tempo la richiesta potrà essere soddisfacente solo nell'ottica di una riduzione dei costi.

Convinti delle enormi potenzialità legate a questa tecnologia, l'unico modo per interrompere questo ciclo è l'affermarsi di una politica di incentivazione che ne incoraggi l'utilizzo.

La strada da compiere non sarà certamente in discesa, ma i rischi che si stanno correndo in termini ambientali e l'avvicinarsi dei cosiddetti “punti di non ritorno”, impongono che ci si adoperi per salvare l'ambiente dalla condizione precaria in cui si trova attualmente.

La sinergia tra digestione anaerobica - celle a combustibile a carbonati fusi MCFC, sembra essere tra tutte, la soluzione più conveniente. Richiede sì uno sforzo da parte della classe politica, dell'imprenditoria, della ricerca e dei cittadini, ma rappresenta una valida alternativa al problema energetico, proponendo parallelamente sostanziali benefici in termini di impatto ambientale.

Ci si augura che tutto ciò possa tradursi in realtà.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] [www.syngen.it](http://www.syngen.it)
- [2] Pubblicazioni CRPA: <http://www.crpa.it/>
- [3] CRPA (Centro ricerche produzioni animali) di Reggio Emilia.  
IZ – Dossier Biogas. Articolo: “Basta agire sulla gestione e il rendimento s’impenna”  
Autori: Claudio Fabbri, Mariangela Soldano
- [4] Report RSE/2009/182 – Accordo di Programma MSE-ENEA. Titolo: Analisi e stima quantitativa della potenzialità di produzione energetica da biomassa digeribile a livello regionale. Studio e sviluppo di un modello per unità energetiche. Parte 1 – Metodologia  
Autori: F. Reale, R. Stolica, M. Gaeta, M. Ferri, M. Sarnataro, V. Vitale
- [4] Report RSE/2009/167 - Censimento potenziale energetico biomasse, metodo indagine, Atlante Biomasse su WEB-GIS.  
Autori: V. Motola, N. Colonna, V. Alfano, M. Gaeta, S. Sasso, V. De Luca, C. De Angelis, A. Soda, G. Braccio
- [5] Allegato 1 del Dlgs 07.04.06 del ministero delle politiche agricole e forestali
- [6] ISTAT – Consistenza zootecnica – 2006 + Studio prodotto dall’ISTAT (2006) dal titolo “Waste statistics on agriculture, forestry and fishing sectors”
- [7] Banca dati nazionale (BDN) dell’anagrafe zootecnica dell’Istituto Zooprofilattico Sperimentale di Teramo (IZS) (stime all’anno 2006)
- [8] Documento dal titolo: Strategie per l’aumento della produzione di metano – Autore: Clemencia Chaves López (Dipartimento di scienze degli Alimenti)
- [9] Testo: “Il trattamento anaerobico dei rifiuti. Aspetti progettuali e tecnici – ANPA 2002
- [10] Fonti commerciali che forniscono esempi di applicazioni impiantistiche:  
<http://www.mt-energie.it/>  
<http://www.biomassenergia.com/>  
<http://alt.envitec-biogas.de/>  
<http://www.bekon-energy.de/italiano/prodotti.htm>  
<http://www.biotecsistemi.it/biotec.htm>  
<http://www.impiantibiogas.com/>  
<http://www.eko-technology.com/>
- [11] CRPA-Centro Ricerche Produzioni Animali s.p.a. <http://www.crpa.it/>
- [12] Cogenerazione: [www.elettrotecnologie.enea.it](http://www.elettrotecnologie.enea.it)
- [13] Celle a Combustibile. Stato di sviluppo e prospettive della tecnologia. ENEA 2008  
Autore: Marina Ronchetti (<http://www.enea.it>)

- [14] Netherlands Agency for Energy and the Environment (NOVEM), “Guidebook on landfill gas extraction and utilization”, 1997.
- [15] Desideri U.-Lunghi P.-Burzacca R. “State of the art about the effect of impurities on MCFCs and pointing out of additional research for alternative fuel utilization” Università degli studi di Perugia (Dip. Ingegneria Industriale).
- [16] Fagioli M., “Studio sperimentale delle applicazioni di gas a basso potere calorifico in celle a combustibile a carbonati fusi” Università degli Studi di Perugia, Anno Accademico 2002-2003



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



*Ministero dello Sviluppo Economico*

## RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Sviluppo di un modello di calcolo per la valorizzazione energetica  
delle biomasse prodotte dalle diverse filiere "Waste to Energy"

Parte 3 – Linguaggi di programmazione

*R. Liguoro*



*Lelig Company di Raffaele Liguoro*

Report RDS/2010/177

SVILUPPO DI UN MODELLO DI CALCOLO PER LA VALORIZZAZIONE ENERGETICA DELLE  
BIOMASSE PRODOTTE DALLE DIVERSE FILIERE "WASTE TO ENERGY"

PARTE 3 – LINGUAGGI DI PROGRAMMAZIONE

Raffaele Liguoro. Lelig Company

Settembre 2010

Report Ricerca Di Sistema elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Produzione e fonti energetiche

Tema: Sviluppo di un modello di calcolo per lo studio di scenari energetici basati sull'impiego delle celle a combustibile a carbonati fusi con biogas prodotto da diverse tipologie di biomasse e/o rifiuti.

Responsabile Tema: Angelo Moreno, ENEA

# Indice

INDICE.....	1
LINGUAGGI DI PROGRAMMAZIONE UTILIZZATI .....	2
<i>Active Server Pages (ASP) 2.0</i> .....	2
AJAX.....	3
<i>JavaScript (JS)</i> .....	6
<i>Adobe CS3</i> .....	32
<i>Cascading StyleSheet (CSS)</i> .....	34
TECNOLOGIE SOFTWARE ADOPERATE NEL PROGETTO .....	46
<i>Windows 2003 Server</i> .....	46
<i>Microsoft Access</i> .....	48
<i>Internet Information Services</i> .....	52
<i>MSSQL Server</i> .....	54
TECNICHE UTILIZZATE NELLA REALIZZAZIONE DEL PROGETTO .....	55
<i>Tecnica RAD</i> .....	56
<i>Conversione di dati</i> .....	57
<i>Struttura base dell'interfaccia grafica (GUI)</i> .....	57
<i>Struttura del portale web</i> .....	58
PROSPETTIVE FUTURE.....	59
BIBLIOGRAFIA E RINGRAZIAMENTI .....	60

# Tecnologie Impiegate

## Linguaggi di programmazione utilizzati

Il lato software del portale è stato realizzato in linguaggio ASP 2.0, AJAX e JAVASCRIPT. E' stato utilizzata inoltre la piattaforma Adobe® Flash CS3 per implementare alcuni oggetti grafici impiegati nelle pagine del portale, ed i fogli di stile CSS, onde facilitare la navigazione all'utente finale.

In taluni casi si è reso necessario l'uso di più linguaggi di programmazione combinati (lato server e lato client) allo scopo di generare script dinamicamente all'interno delle pagine HTML, in base alle scelte adoperate dall'utente.

Segue una breve carrellata dei linguaggi utilizzati.

### Active Server Pages (ASP) 2.0

Le principali motivazioni per le quali è stato scelto il linguaggio ASP sono la sua implicita versatilità e rapidità di implementazione nonché la nota semplicità nell'effettuare correzioni e patch ai software realizzati. In informatica, le Active Server Pages (Pagine Server Attive, in genere abbreviato in ASP) sono pagine web contenenti, oltre al puro codice HTML, degli script che verranno eseguiti dal server per generare runtime il codice HTML da inviare al browser dell'utente (proprio per questo vengono in genere definite pagine web dinamiche). In questo modo è possibile mostrare contenuti dinamici (ad esempio estratti da database che risiedono sul server web) e modificarne l'aspetto secondo le regole programmate negli script, il tutto senza dover inviare il codice del programma all'utente finale (al quale va inviato solo il risultato), con un notevole risparmio di tempi e banda.

Il linguaggi utilizzati sono VBScript e JScript per l'ambiente ASP e VB.NET, C# e J# per l'ambiente ASP.NET (anche se il più utilizzato è proprio VB.NET). Grazie a questi linguaggi il sistema dinamico può comunicare lato server con tutti gli oggetti presenti sul sistema, infatti le possibilità offerte dal sistema sono fortemente orientate verso l'interfaccia con un corrispondente database, rendendo così possibile lo sviluppo di siti dinamici basati sulle informazioni contenute nel database. È possibile interfacciare le pagine ASP con qualsiasi tipo di database che abbia un driver OLE-db o ODBC, come ad esempio Access, SQL Server, MySQL, Oracle, Firebird, Sybase e tanti altri. Funziona ufficialmente solo sul web server Microsoft Internet Information Services (IIS). Nonostante questo, per quanti utilizzano piattaforme GNU/Linux è disponibile un emulatore che consente di eseguire i codici ASP senza dover riscrivere l'intero progetto ma soltanto una piccola porzione di esso. Nel diffuso web server Apache, ad esempio, è possibile utilizzare pagine dalla



sintassi simile ad ASP installando e configurando il modulo Apache: ASP funzionante sulla base di Perl. In alternativa esiste inoltre un modulo generalmente noto come ChiliASP (su cui si basa il modulo SJSASP, Sun Java System Active Server Pages, disponibile sul sito di SUN).

Una caratteristica molto apprezzata dagli utilizzatori dell'interprete ASP è la semplice e comprensibile sintassi di programmazione che rende la curva di apprendimento di tale linguaggio poco ripida. L'interprete ASP, tuttavia, presenta alcuni limiti, specialmente di prestazioni.

Principali concorrenti di ASP sono il PHP, che funziona in modo molto simile, ma con una sintassi del tutto diversa dal VBScript, e l'unione di Perl e CGI, che è un meccanismo meno integrato nella sola pagina web e quindi più macchinoso da gestire, che tuttavia permette al programmatore più flessibilità.

## AJAX

La tecnologia AJAX è stata utilizzata principalmente per facilitare e velocizzare la visualizzazione delle informazioni utili all'utente per effettuare scelte durante la navigazione all'interno del sito web, poiché alcuni elementi dell'interfaccia come ad esempio le selectbox, attingono dati da un database molto grande.

AJAX, acronimo di Asynchronous JavaScript and XML, è una tecnica di sviluppo per la realizzazione di applicazioni web interattive (Rich Internet Application). Lo sviluppo di applicazioni HTML con AJAX si basa su uno scambio di dati in background fra web browser e server, che consente l'aggiornamento dinamico di una pagina web senza esplicito ricaricamento da parte dell'utente. AJAX è asincrono nel senso che i dati extra sono richiesti al server e caricati in background senza interferire con il comportamento della pagina esistente. Normalmente le funzioni richiamate sono scritte con il linguaggio JavaScript. Tuttavia, e a dispetto del nome, l'uso di JavaScript e di XML non è obbligatorio, come non è necessario che le richieste di caricamento debbano essere necessariamente asincrone.

AJAX è una tecnica multi-piattaforma utilizzabile su molti sistemi operativi, architetture informatiche e browser web, ed esistono numerose implementazioni open source di librerie e framework.

La tecnica Ajax utilizza una combinazione di:

HTML (o XHTML) e CSS per il markup e lo stile;

DOM (Document Object Model) manipolato attraverso un linguaggio ECMAScript come JavaScript o JScript per mostrare le informazioni ed interagirvi;

l'oggetto XMLHttpRequest per l'interscambio asincrono dei dati tra il browser dell'utente e il web server. In alcuni framework Ajax e in certe situazioni, può essere usato un oggetto IFrame invece di XMLHttpRequest per scambiare i dati con il server e, in altre implementazioni, tag <script> aggiunti dinamicamente (JSON);

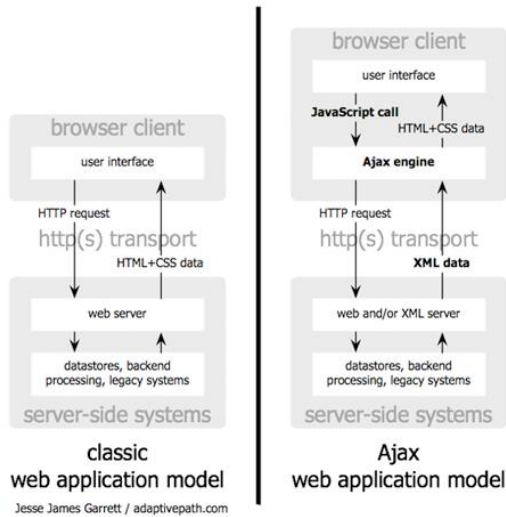
in genere viene usato XML come formato di scambio dei dati, anche se di fatto qualunque formato può essere utilizzato, incluso testo semplice, HTML preformattato, JSON e perfino EBML. Questi file sono solitamente generati dinamicamente da script lato server. Come DHTML o LAMP, Ajax non è una tecnologia individuale, piuttosto è un gruppo di tecnologie utilizzate insieme.

Le applicazioni web che usano Ajax richiedono browser che supportano le tecnologie necessarie (quelle dell'elenco sopra). Questi browser includono: Mozilla, Firefox, Opera, Konqueror, Safari, Internet Explorer e Chrome. Tuttavia, per specifica, "Opera non supporta la formattazione degli oggetti XSL".

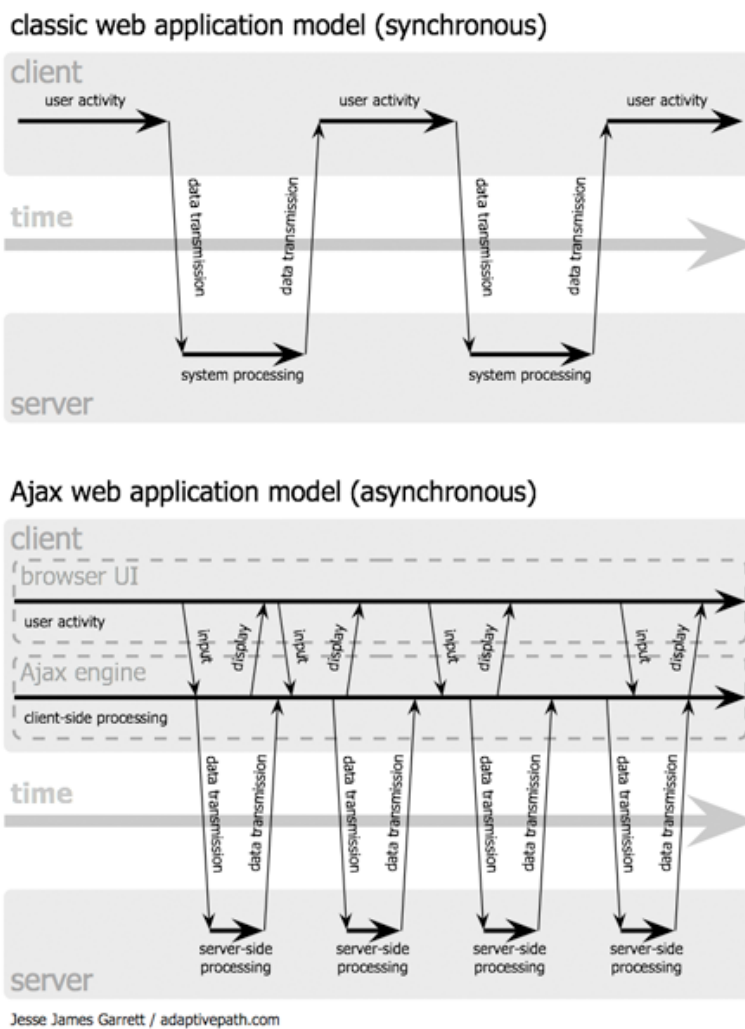
### **Confronto con applicazioni tradizionali**

Le applicazioni web tradizionali consentono agli utenti di compilare moduli e, quando questi moduli vengono inviati, viene inviata una richiesta al web-server. Il web server agisce in base a ciò che è stato trasmesso dal modulo e risponde bloccando o mostrando una nuova pagina. Dato che molto codice HTML della prima pagina è identico a quello della seconda, viene sprecata moltissima banda. Dato che una richiesta fatta al web server deve essere trasmessa su ogni interazione con l'applicazione, il tempo di reazione dell'applicazione dipende dal tempo di reazione del web server. Questo comporta che l'interfaccia utente diventa molto più lenta di quanto dovrebbe essere.

Le applicazioni Ajax, d'altra parte, possono inviare richieste al web server per ottenere solo i dati che sono necessari (generalmente usando SOAP e JavaScript per mostrare la risposta del server nel browser). Come risultato si ottengono applicazioni più veloci (dato che la quantità di dati interscambiati fra il browser ed il server si riduce). Anche il tempo di elaborazione da parte del web server si riduce poiché la maggior parte dei dati della richiesta sono già stati elaborati. questa immagine mostra come un'applicazione web tradizionale elabora l'interazione dell'utente e come lo fa invece un'applicazione AJAX.



questa immagine mostra come i componenti delle applicazioni AJAX interagiscono tra loro comparandolo con quello che accade nelle applicazioni web classiche.



Un esempio concreto: molti siti usano le tabelle per visualizzare i dati. Per cambiare l'ordine di visualizzazione dei dati, con un'applicazione tradizionale l'utente dovrebbe cliccare un link nell'intestazione della tabella che invierebbe una richiesta al server per ricaricare la pagina con il nuovo ordine. Il web server allora invierebbe una nuova query SQL al database ordinando i dati come richiesto, la eseguirebbe, prenderebbe i dati e ricostruirebbe da zero la pagina web rinviandola integralmente all'utente. Usando le tecnologie Ajax, questo evento potrebbe preferibilmente essere eseguito con uno JavaScript lato client che genera dinamicamente una vista dei dati con DHTML. Un altro esempio potrebbe essere la scelta di un nuovo nickname in fase di creazione di un account su un sito web, nel caso classico, se il nome che abbiamo scelto fosse già esistente, dovremmo compilare prima tutto il modulo ed accorgerci solo dopo aver atteso il caricamento della pagina di conferma che il nome è già esistente e dobbiamo cambiarlo, invece con AJAX può essere introdotto un controllo sull'evento onChange o addirittura OnKeyUp della casella di testo che ci può informare tempestivamente che il nome inserito non è valido, magari evidenziando il testo in rosso (CSS + Javascript).

### **Pro e contro**

Come per le applicazioni DHTML, anche le applicazioni AJAX devono essere testate su più browser per verificarne la compatibilità (librerie come Sarissa di SourceForge possono tuttavia essere di aiuto). Inoltre è richiesto che nel client sia attivato Javascript. Il vantaggio di usare AJAX è la grande velocità alla quale un'applicazione risponde agli input dell'utente.

Un problema abbastanza degno di nota è che, senza l'adozione di adeguate contromisure, le applicazioni AJAX possono rendere non utilizzabile il tasto "indietro" del browser: con questo tipo di applicazioni, infatti, non si naviga da una pagina all'altra, ma si aggiorna di volta in volta una singola parte del medesimo documento. Proprio per questo i browser, che sono programmi orientati alla pagina, non hanno possibilità di risalire ad alcuna di tali versioni "intermedie". Google, nella sua Google Maps, ha sviluppato una possibile soluzione al problema: invece di usare XMLHttpRequest quando l'utente clicca sul bottone di ricerca, il risultato della ricerca viene inviato in un iframe invisibile, dal quale le informazioni sono portate nella pagina visibile. In ogni modo, un attento design delle applicazioni AJAX permette di risolvere totalmente o in parte questi aspetti negativi.

### **JavaScript (JS)**

Per realizzare gli effetti dinamici all'interno delle pagine HTML e per effettuare controlli sugli inserimenti nelle textbox è stato usato in modo massiccio il linguaggio di scripting JavaScript

JavaScript è un linguaggio di scripting orientato agli oggetti comunemente usato nei siti web. Fu originariamente sviluppato da Brendan Eich della Netscape Communications con il nome di Mocha e successivamente di LiveScript, ma in seguito è stato rinominato "JavaScript" ed è stato formalizzato con una sintassi più vicina a quella del linguaggio Java di Sun Microsystems. JavaScript è stato standardizzato per la prima volta tra il 1997 e il 1999 dalla ECMA con il nome ECMAScript. L'ultimo standard, del dicembre 1999, è ECMA-262 Edition 3, e corrisponde a JavaScript 1.5. È anche uno standard ISO.

### **Java, JavaScript, e JScript**

Il cambio di nome da LiveScript a JavaScript si ebbe più o meno nel periodo in cui Netscape stava includendo il supporto per la tecnologia Java nel suo browser Netscape Navigator. La scelta del nome si rivelò fonte di grande confusione. Non c'è una vera relazione tra Java e JavaScript; le loro somiglianze sono soprattutto nella sintassi (derivata in entrambi i casi dal linguaggio C); le loro semantiche sono piuttosto diverse, e in particolare i loro object model non hanno relazione e sono ampiamente incompatibili. Dato il successo di JavaScript come linguaggio per arricchire le pagine web, Microsoft sviluppò un linguaggio compatibile, conosciuto come JScript. La necessità di specifiche comuni fu alla base dello standard ECMA 262 per ECMAScript, di cui sono state pubblicate tre edizioni da quando il lavoro iniziò, nel novembre 1996.

### **Aspetti strutturali**

La caratteristica principale di JavaScript è quella di essere un linguaggio interpretato. Il codice quindi non viene compilato bensì c'è un interprete (in JavaScript lato client esso è incluso nel browser che si sta utilizzando) che esegue riga per riga, a tempo di esecuzione, quanto trascritto nello script. JavaScript presenta quindi tutte le caratteristiche di un normale linguaggio interpretato (e di conseguenza i suoi vantaggi e svantaggi[non chiaro]) con una sintassi analoga a quella di un linguaggio compilato (essa è relativamente simile a quella del C, del C++ e del Java)[1], quindi con la possibilità di utilizzare funzionalità tipiche dei linguaggi di programmazione ad alto livello (strutture di controllo, cicli, etc.) e con in più anche la potenzialità di definire strutture più complesse, vicine a quelle adottate nei normali linguaggi object oriented (creazione di prototipi, istanziazione di oggetti, costruttori).

Un'altra caratteristica importante di JavaScript consiste nel suo essere un linguaggio debolmente tipizzato; quindi il tipo delle variabili può non essere assegnato in fase di dichiarazione e le variabili stesse vengono convertite in maniera automatica dall'interprete.

Inoltre JavaScript è un linguaggio debolmente orientato agli oggetti. Ad esempio, il meccanismo dell'ereditarietà è più simile a quello del Self e del NewtonScript che a quello del linguaggio Java (che è un linguaggio fortemente orientato agli oggetti). Gli oggetti stessi ricordano più gli array associativi del Perl che gli oggetti di Java o del C++.

Altri aspetti di interesse: in JavaScript lato client il codice JavaScript viene eseguito sul client, quindi il server non viene sollecitato. Ciò risulta essere un vantaggio in quanto con la presenza di script particolarmente complessi il server non verrebbe sovraccaricato. Di contro, nel caso di script che presentino una considerevole mole di dati, il tempo per lo scaricamento potrebbe diventare troppo lungo.

Inoltre, lavorando solamente sul client, ogni informazione che presuppone un accesso a dati memorizzati in un database deve essere rimandata ad un linguaggio che effettua esplicitamente la transazione per poi restituire i risultati ad una o più variabili JavaScript; operazioni del genere richiedono il caricamento della pagina stessa. Con l'avvento di AJAX tutti questi limiti sono stati superati.

## **Uso del JavaScript**

JavaScript è un linguaggio di programmazione orientato agli oggetti con una sintassi vagamente basata sul C. Come il C, ha il concetto di parole chiave riservate, che rendono quasi impossibile espandere il linguaggio (essendo eseguito direttamente dal sorgente).

Come nel C, il linguaggio non ha propri costrutti di input o output; mentre il C si affida alle librerie I/O standard, un interprete JavaScript si basa su un programma ospite in cui è integrato. Ci sono molti programmi ospiti di questo tipo, di cui quelli relativi al Web sono gli esempi più noti. Questi verranno illustrati per primi.

JavaScript, se integrato in un browser Web, si collega tramite interfacce chiamate DOM (Document Object Model) alle applicazioni, specialmente al lato server (web server) e al lato client (browser) delle applicazioni internet. Molti siti web usano la tecnologia JavaScript lato client per creare potenti applicazioni web dinamiche. Può usare Unicode e può valutare le espressioni regolari (introdotte nella versione 1.2, in Netscape Navigator 4 e Internet Explorer 4). Le espressioni JavaScript contenute in una stringa possono essere valutate usando la funzione eval.

Un uso principale del Javascript basato su web è la scrittura di piccole funzioni integrate nelle pagine HTML che interagiscono con il DOM del browser per compiere determinate azioni non possibili con il solo HTML statico; controllare i valori nei campi di input, nascondere o visualizzare determinati elementi, ecc.

Sfortunatamente, gli standard DOM imposti dal W3C non sempre vengono rispettati dai vari browser: browser diversi (anche a seconda del loro motore di rendering) espongono diversi oggetti o metodi allo script (Internet Explorer è solito aderire agli standard con piccole modifiche, e tratta ad esempio l'oggetto event come globale; Opera non supporta le funzioni alert() e confirm()), ed è quindi spesso necessario implementare controlli aggiuntivi ad una funzione JavaScript, per garantirne la compatibilità con ciascun browser.

Al di fuori del Web, interpreti JavaScript sono integrati in diverse applicazioni. Adobe Acrobat e Adobe Reader supportano JavaScript nei file PDF. La piattaforma Mozilla, che è alla base di molti diffusi browser Web, usa JavaScript per implementare l'interfaccia utente e la logica di transazione dei suoi vari prodotti. Gli interpreti JavaScript sono integrati anche nelle applicazioni proprietarie prive di interfacce programmabili via script. Infine la tecnologia Windows Script Host di Microsoft supporta JavaScript (via JScript) un linguaggio di scripting per i sistemi operativi.

Ciascuna di queste applicazioni fornisce il proprio modello a oggetti che dà accesso all'ambiente ospite, con il nucleo del linguaggio JavaScript che rimane per lo più invariato in ciascuna applicazione.

Ci sono diverse implementazioni del nucleo del linguaggio Javascript, tra le quali:

- KJS
- Rhino
- SpiderMonkey
- Narcissus
- NJS
- NGS
- Resin
- FESI
- SEE
- DMDScript
- V8

**Ambiente:**

## Tag Script

Il principale tag del linguaggio di script Javascript è il tag script. Questo tag è un'estensione dell'HTML in quanto permette la gestione di codice esterno che non è nativo HTML.

```
<script type="text/javascript">
// 
JavaScript statements...
// ]&gt;
&lt;/script&gt;</pre></div><div data-bbox="91 292 913 356" data-label="Text"><p>Un documento può presentare in più parti la definizione del tag SCRIPT. Tramite questo tag si può rappresentare la versione utilizzata ed a seconda del browser si avrà l'interpretazione della parte di codice appropriata. Le definizioni possono essere le seguenti:</p></div><div data-bbox="91 376 452 392" data-label="Text"><p>Per "scrivere" direttamente nella pagina HTML:</p></div><div data-bbox="126 411 367 460" data-label="Text"><pre>&lt;script type="text/javascript"&gt;
  document.write("Hello World!");
&lt;/script&gt;</pre></div><div data-bbox="91 491 913 532" data-label="Text"><p>Il tipo MIME per il codice sorgente JavaScript source code è application/x-javascript, ma è più usato text/javascript, anche se non standard.</p></div><div data-bbox="91 587 748 603" data-label="Text"><p>Per integrare del codice Javascript in un documento HTML, bisogna farlo precedere da:</p></div><div data-bbox="126 623 343 638" data-label="Text"><pre>&lt;script type="text/javascript"&gt;</pre></div><div data-bbox="91 675 193 691" data-label="Text"><p>e seguire da:</p></div><div data-bbox="126 711 194 726" data-label="Text"><pre>&lt;/script&gt;</pre></div><div data-bbox="91 758 583 774" data-label="Text"><p>Browser più vecchi tipicamente richiedono che il codice inizi con:</p></div><div data-bbox="134 793 508 824" data-label="Text"><pre>&lt;script language="JavaScript" type="text/javascript"&gt;
&lt;!--</pre></div><div data-bbox="91 862 194 878" data-label="Text"><p>e finisce con:</p></div><div data-bbox="883 894 913 911" data-label="Page-Footer"><p>10</p></div>
```



```
// -->
</script>
```

I segnalatori di commento <!-- ... --> sono necessari per assicurare che il codice non venga visualizzato come testo da browser molto vecchi che non riconoscono il tag <script> nei documenti HTML, mentre LANGUAGE è un attributo HTML (il cui uso è ormai sconsigliato) che può essere richiesto da vecchi browser. Comunque, i tag <script> nei documenti XHTML/XML non funzionano se commentati, dato che i parser conformi agli standard XHTML/XML ignorano i commenti e possono anche incontrare problemi con i simboli --, < e > negli script (per esempio, confondendoli con gli operatori di decremento degli interi e di confronto). I documenti XHTML dovrebbero quindi includere gli script come sezioni CDATA dell'XML, facendoli precedere da

```
<script type="text/javascript">
//</pre></div><div data-bbox="90 394 260 411" data-label="Text"><p>e facendoli seguire da</p></div><div data-bbox="133 431 202 462" data-label="Text"><pre>///]&gt;
&lt;/script&gt;</pre></div><div data-bbox="90 493 913 534" data-label="Text"><p>(I simboli '//' all'inizio di una linea segnalano l'inizio di un commento JavaScript, per impedire che &lt;![CDATA[ e ]]&gt; vengano analizzati dallo script.)</p></div><div data-bbox="90 589 913 677" data-label="Text"><p>Gli elementi HTML possono contenere eventi intrinseci che possono essere associati a gestori specificati da uno script. Per scrivere del codice HTML 4.01 valido, il server web dovrebbe restituire un 'Content-Script-Type' con valore 'text/javascript'. Se il server web non può essere configurato a tale scopo, l'autore del sito web può inserire la seguente dichiarazione nella sezione di intestazione del documento</p></div><div data-bbox="127 696 604 712" data-label="Text"><pre>&lt;meta http-equiv="Content-Script-Type" content="text/javascript" /&gt;</pre></div><div data-bbox="95 743 217 760" data-label="Section-Header"><h3><b>Incompatibilità</b></h3></div><div data-bbox="90 778 913 867" data-label="Text"><p>Le varie implementazioni di JavaScript, come già accaduto per l'HTML, spesso non sono conformi agli standard, ma piuttosto sono costruite per funzionare con uno specifico browser web. L'attuale standard ECMAScript dovrebbe essere teoricamente la base di tutte le implementazioni Javascript, ma in pratica i browser Mozilla (e Netscape) usano JavaScript, Microsoft Internet Explorer usa JScript, e altri browser come</p></div><div data-bbox="882 894 913 911" data-label="Page-Footer"><p>11</p></div>
```

Opera e Safari usano altre implementazioni ECMAScript, spesso con ulteriori caratteristiche non standard per permettere la compatibilità con JavaScript e JScript.

JavaScript e JScript contengono molte caratteristiche che non sono parte dello standard ufficiale ECMAScript, e possono anche essere privi di diverse caratteristiche. In tal modo, sono in parte incompatibili, il che porta gli autori di script a sopperire a tali problemi. Tra i due, JavaScript è più conforme allo standard: ciò significa che uno script redatto secondo gli standard ECMA funzionerà con la maggior parte dei browser, tranne Internet Explorer.

Un altro effetto è che ciascun browser potrebbe trattare lo stesso script in modo diverso, e ciò che funziona in un browser potrebbe non funzionare in un altro browser, o persino in una diversa versione dello stesso browser. Come con l'HTML, è quindi raccomandabile scrivere codice conforme agli standard.

Il VBScript di Microsoft Internet Explorer non è JavaScript, ed è incompatibile con lo standard ECMA.

### **Combattere le incompatibilità**

Ci sono due tecniche principali per gestire le incompatibilità: browser sniffing (lett. "annusare il browser") e object detection (rilevazione dell'oggetto). Quando c'erano solo due browser che supportavano lo scripting (Netscape and Internet Explorer), il browser sniffing era la tecnica più diffusa. Controllando un certo numero di proprietà del client, che restituivano informazioni su piattaforma, browser e versione, era possibile per il codice discernere esattamente in quale browser veniva eseguito. Più tardi, le tecniche di sniffing divennero più difficili da implementare, dato che Internet Explorer cominciò a "dissimulare" le sue informazioni sul client, per esempio fornendo informazioni sul browser sempre più inaccurate (i motivi per questo comportamento della Microsoft sono da tempo oggetto di disputa). Più tardi ancora, il browser sniffing divenne una sorta di complicata forma d'arte, quando cioè altri browser dotati di scripting entrarono nel mercato, ciascuno con proprie informazioni su piattaforma, client e versione.

L'object detection si basa sul controllare l'esistenza della proprietà di un oggetto.

```
function set_image_source(imageName, imageURL)  
{  
  // Test per verificare se l'oggetto 'document' ha una proprietà 'images'  
  if (document.images)  
  {  
    // eseguito solo se esiste un vettore 'images'  
    document.images[ imageName ].src = imageURL;  
  }  
}
```

```
}
```

Un esempio più complesso si basa sull'uso di test booleani collegati:

```
if (document.body && document.body.style)
```

In questo caso, l'espressione "document.body.style" normalmente causerebbe un errore in un browser che non ha la proprietà "document.body", ma l'uso dell'operatore "&&" assicura che "document.body.style" non venga mai chiamato se "document.body" non esiste. Questa tecnica è chiamata lazy evaluation (lett. "valutazione pigra").

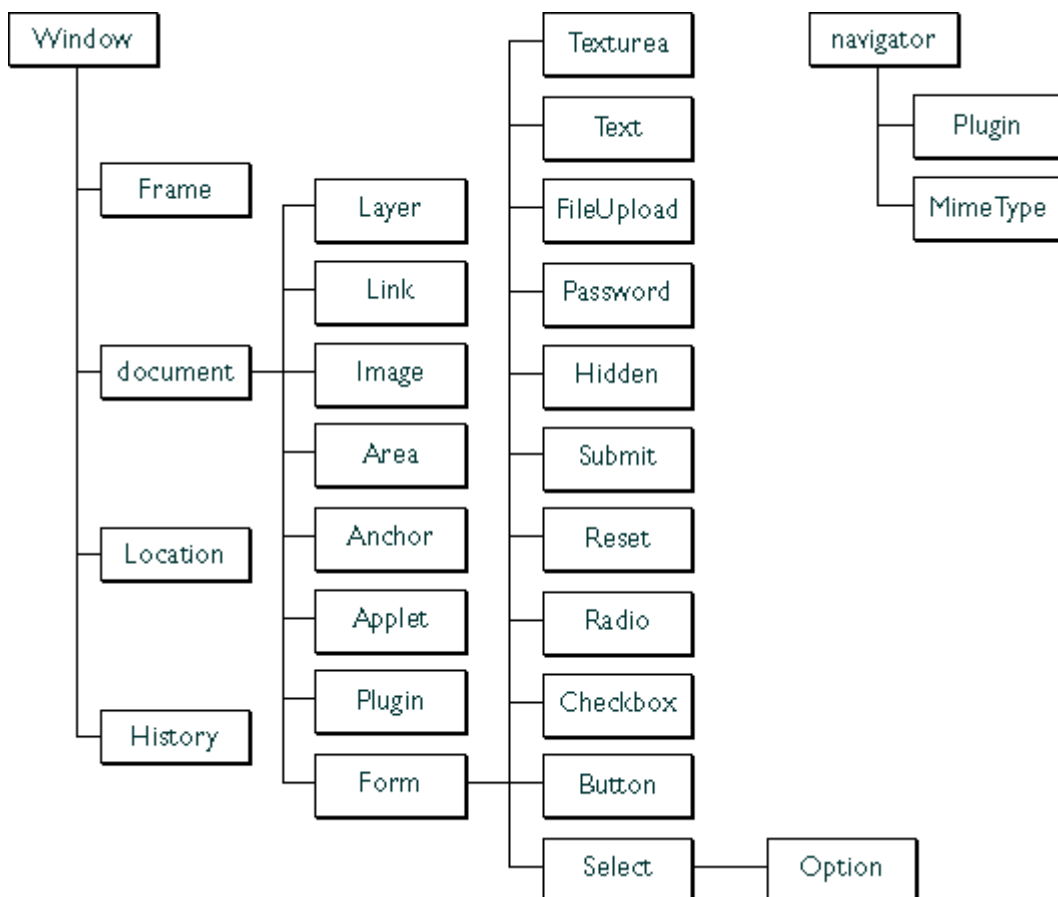
Oggi, una combinazione di browser sniffing, object detection, e conformità agli standard come le specifiche ECMAScript e i CSS sono usati in varie proporzioni per provare ad assicurare che un utente non incontri mai un errore JavaScript.

## **Elementi del linguaggio:**

### **Variabili**

Le variabili sono in genere tipizzate dinamicamente. Le variabili sono definite semplicemente assegnando loro un valore oppure usando il comando var. Le variabili dichiarate fuori da qualunque funzione sono in visibilità "globale", accessibili dall'intera pagina web; le variabili dichiarate dentro una funzione sono locali per quella funzione. Per passare variabili da una pagina all'altra, uno sviluppatore può impostare un cookie o usare un frame nascosto o una finestra in background per memorizzarli.

### **Oggetti**



Ogni cosa in JavaScript è o un valore primitivo o un oggetto. Gli oggetti sono entità dotate di unicità (sono uguali solo a sé stessi) e che associano nomi di proprietà a valori. Ciò significa che un oggetto è un vettore associativo simile agli hash in Perl e Ruby, o ai dizionari in Python, PostScript e Smalltalk.

JavaScript ha diversi generi di oggetti predefiniti, in particolare Array (vettori), Boolean (booleani), Date (oggetti contenenti una data e un'ora), Function (funzioni), Math (oggetto contenente funzioni di uso nel calcolo matematico), Number (numeri), Object (oggetti), RegExp (espressioni regolari) e String (stringhe). Altri oggetti sono gli "oggetti ospiti", definiti non dal linguaggio ma dall'ambiente di esecuzione. In un browser, i tipici oggetti ospite appartengono al DOM: window (finestra), form (maschera), link (collegamento) ecc.

Definendo un costruttore, è possibile definire oggetti. JavaScript è un linguaggio orientato a oggetti basato su prototipi. Ciò significa che l'eredità è fra oggetti, non fra classi (JavaScript non ha classi). Gli oggetti ereditano le proprietà dai loro prototipi.

Si possono aggiungere ulteriori proprietà o metodi ai singoli oggetti dopo che sono stati creati. Per far questo per tutte le istanze create da un singolo costruttore, si può usare la proprietà prototype del

costruttore per accedere all'oggetto prototipo.

Esempio: Creazione di un oggetto

```
// costruttore
function MyObject(attributeA, attributeB)
{
  this.attributeA = attributeA
  this.attributeB = attributeB
}
// crea un Oggetto
obj = new MyObject('red', 1000)

// accede ad un attributo di obj
alert(obj.attributeA)

// accede ad un attributo con la notazione del vettore associativo
alert(obj["attributeA"])
La gerarchia degli oggetti in JavaScript può essere emulata. Per esempio:
```

```
function Base()
{
  this.Override = _Override;
  this.BaseFunction = _BaseFunction;
```

```
function _Override()
{
  alert("Base::Override()");
}
```

```
function _BaseFunction()
{
  alert("Base::BaseFunction()");
}
}
```

```
function Derive()
{
  this.Override = _Override;
  function _Override()
  {
    alert("Derive::Override()");
  }
}
```

```
Derive.prototype = new Base();
```

```
d = new Derive();
d.Override();
```

```
d.BaseFunction();
```

risulterà nell'output:

```
Derive::Override()  
Base::BaseFunction()
```

## Oggetti predefiniti

Oltre a permettere la definizione di oggetti, il Javascript mette a disposizione tutta una serie di oggetti che possono essere utilizzati per i propri script:

- Anchor
- Applet
- Area
- Array
- Base
- Basefont
- Body
- Button
- Checkbox
- Date
- Document
- Event
- File
- FileUpload
- Form
- Frame
- Frameset
- Function
- Hidden
- History
- Iframe
- Image
- Layer
- Link
- Location
- Math
- Meta
- Navigator
- Number
- Object
- Option
- Password
- Radio
- RegExp
- Reset
- Screen
- Select
- Style
- String
- Submit
- Table
- TableData
- TableHeader
- TableRow
- Text
- Textarea

- Window

## Strutture dati

Una tipica struttura dati è l'Array o vettore, che è una mappa tra interi e valori. In Javascript, tutti gli oggetti possono associare interi e valori, ma i vettori sono un tipo speciale di oggetti che hanno dei comportamenti extra e metodi specializzati negli indici interi (per es., join, slice, e push).

I vettori hanno una proprietà length che è garantita essere sempre maggiore dell'indice più grande usato nel vettore. È automaticamente aggiornata se si crea una proprietà con un indice ancora maggiore. Scrivere un numero più piccolo nella proprietà length rimuove gli indici più grandi. Questa proprietà è l'unica caratteristica speciale dei vettori, che li distingue dagli altri oggetti.

Gli elementi degli Array possono essere indirizzati usando la normale notazione per accedere alle proprietà degli oggetti:

```
myArray[1]
myArray["1"]
```

Queste due notazioni sono equivalenti. Non è possibile usare la notazione a punto o le stringhe con una rappresentazione alternativa del numero:

myArray.1 (errore di sintassi)

myArray(1) (sintassi errata, ammessa unicamente da Internet Explorer)

myArray["01"] (non è lo stesso di myArray[1])

La dichiarazione di un vettore può usare o una notazione esplicita o il costruttore Array:

```
myArray = [0,1,,4,5]; (vettore di lunghezza 6 con 4 elementi)
```

```
myArray = new Array(0,1,2,3,4,5); (vettore con lunghezza 6 e 6 elementi)
```

```
myArray = new Array(365); (vettore vuoto con lunghezza 365)
```

Gli Array sono implementati in modo che solo gli elementi definiti usino memoria; sono "vettori sparsi". Impostare myArray[10] = 'qualcosa' e myArray[57] = 'qualcosaltro' usa solo lo spazio per questi due elementi, come per ogni altro oggetto. La lunghezza dell'array verrà sempre riportata come 58.



## Strutture di controllo e condizionali:

### If ... Else

```
if (condizione)
{
    istruzioni
}
else [facoltativo]
{
    istruzioni
}
```

### Ciclo While

```
while (condizione)
{
    istruzioni
}
```

### Ciclo Do ... while

```
do
{
    istruzioni
} while (condizione);
```

Ciclo For

```
for ([espressione iniziale]; [condizione]; [espressione di incremento])
{
    istruzioni
}
```

### Ciclo For ... in

Questo ciclo percorre tutte le proprietà di un oggetto (o gli elementi di un vettore).

```
for (variabile in oggetto)
{
    istruzioni
}
```

```
}
```

## Istruzione switch

```
switch (espressione)
{
  case etichetta1:
    istruzioni;
    break;
  case etichetta2:
    istruzioni;
    break;
  default :
    istruzioni;
}
```

## Funzioni

Una funzione è un blocco con una lista di argomenti (che può essere anche vuota) a cui è normalmente assegnato un nome. Una funzione può restituire un valore di ritorno.

```
function(arg1, arg2, arg3)
{
  istruzioni;
  return espressione;
}
```

Il numero degli argomenti passati quando si chiama una funzione non deve necessariamente essere uguale al numero degli argomenti della definizione della funzione. All'interno della funzione gli argomenti possono essere riferiti anche attraverso il vettore arguments (quest'ultimo possiede la proprietà callee rappresentante un puntatore alla funzione stessa).

Ogni funzione è un'istanza di Function, un tipo di oggetto base. Le funzioni possono essere create e assegnate come ogni altro oggetto:

```
var myFunc1 = new Function("alert('Hello')");
var myFunc2 = myFunc1;
myFunc2();
```

produce come output:

*Hello*

## Interazione con l'utente

La maggior parte dell'interazione con l'utente si ha attraverso form HTML a cui si può accedere con il DOM HTML. Comunque, ci sono anche alcuni mezzi molto semplici per comunicare con l'utente:

- Alert dialog box (finestra di avviso)
- Confirm dialog box (finestra di conferma)
- Prompt dialog box (finestra di richiesta input)
- Barra di stato
- Standard output ("console")

Nota: le prime tre non funzionano col browser Opera; non vi è nessun errore, semplicemente non vengono eseguite.

## Metodi di scrittura a video (Standard Output)

Per scrivere a video (cioè nella pagina in cui si trova lo script) è possibile utilizzare il metodo `document.write()`; le stringhe da visualizzare possono essere concatenate utilizzando l'operatore di concatenamento '+':

```
<html>
<head>
<script type="text/javascript">
<!-- Nasconde lo script ai browser obsoleti
// Questa funzione genera una riga orizzontale della larghezza scelta.
function bar(widthPct)
{
  document.write("<hr align='left' width='" + widthPct + "%'>");
}
// Questa funzione genera del testo preceduto da un titolo di dato livello.
function output(headLevel, headText, text)
{
  document.write("<h" + headLevel + ">" + headText + "</h" + headLevel + "><p>" + text + "</p>");
```

```

}
// Fine del codice da nascondere -->
</script>
</head>
<body>
<script type="text/javascript">
<!-- Nasconde lo script ai browser obsoleti
bar(25)
output(2, "JavaScript Rules!", "Usare JavaScript è facile...")

// Fine del codice da nascondere -->
</script>
<p>Questo è normale HTML, a differenza di quello generato dal codice sopra.</p> </body></html>

```

## Eventi

Gli elementi di testo possono essere la fonte di vari eventi che possono avviare un'azione se è stato registrato un gestore di eventi ECMAScript. Nell'HTML, questi gestori di eventi sono spesso funzioni definite come anonime direttamente all'interno del tag HTML. La sintassi per richiamare un evento in uno script è la seguente:

```
Oggetto.evento = handler;
```

- Esistono varie categorie di eventi:
- Eventi attivabili dai tasti del mouse
- Eventi attivabili dai movimenti del mouse
- Eventi attivabili dal trascinarsi del mouse (drag and drop)
- Eventi attivabili dall'utente con la tastiera
- Eventi attivabili dalle modifiche dell'utente
- Eventi legati al "fuoco"
- Eventi attivabili dal caricamento degli oggetti
- Eventi attivabili dai movimenti delle finestre
- Eventi legati a particolari bottoni
- Altri e nuovi tipi di eventi
- Eventi attivabili dai tasti del mouse

### Lista eventi:

- onClick: attivato quando si clicca su un oggetto;
- onDbClick: attivato con un doppio click;

- `onMouseDown`: attivato quando si schiaccia il tasto sinistro del mouse;
- `onMouseUp`: attivato quando si alza il tasto sinistro del mouse precedentemente schiacciato;
- `onContextMenu`: attivato quando si clicca il tasto destro del mouse aprendo il `ContextMenu`.
- Il doppio click è un evento che ingloba gli altri e, per la precisione, attiva in successione `onmousedown`, `onmouseup`, `onclick`.

### Tag di applicazione

A, ADDRESS, APPLET, AREA, B, BDO, BIG, BLOCKQUOTE, BODY, BUTTON, CAPTION, CENTER, CITE, CODE, DD, DFN, DIR, DIV, DL, DT, EM, EMBED, FIELDSET, FONT, FORM, HR, I, IMG, INPUT TYPE=BUTTON, INPUT TYPE=CHECKBOX, INPUT TYPE=FILE, INPUT TYPE=IMAGE, INPUT TYPE=PASSWORD, INPUT TYPE=RADIO, INPUT TYPE=RESET, INPUT TYPE=SUBMIT, INPUT TYPE=TEXT, KBD, LABEL, LEGEND, LI, LISTING, MAP, MARQUEE, MENU, NEXTID, NOBR, OBJECT, OL, P, PLAINTEXT, PRE, RT, RUBY, S, SAMP, SELECT, SMALL, SPAN, STRIKE, STRONG, SUB, SUP, TABLE, TBODY, TD, TEXTAREA, TFOOT, TH, THEAD, TR, TT, U, UL, VAR, XMP

### Eventi attivabili dai movimenti del mouse

Lista eventi:

- `onMouseOver`: attivato quando il mouse si muove su un oggetto;
- `onMouseOut`: attivato quando il mouse si sposta da un oggetto;
- `onMouseMove`: si muove il puntatore del mouse, ma poiché questo evento ricorre spesso (l'utilizzo del mouse è frequente), non è disponibile per default, ma solo abbinato con la cattura degli eventi, che si spiegherà in seguito.

### Tag di applicazione

A, ADDRESS, APPLET, AREA, B, BDO, BIG, BLOCKQUOTE, BODY, BUTTON, CAPTION, CENTER, CITE, CODE, DD, DFN, DIR, DIV, DL, DT, EM, EMBED, FIELDSET, FONT, FORM, HR, I, IMG, INPUT TYPE=BUTTON, INPUT TYPE=CHECKBOX, INPUT TYPE=FILE, INPUT TYPE=IMAGE, INPUT TYPE=PASSWORD, INPUT TYPE=RADIO, INPUT TYPE=RESET, INPUT TYPE=SUBMIT, INPUT TYPE=TEXT, KBD, LABEL, LEGEND, LI, LISTING, MAP, MARQUEE, MENU, NEXTID, NOBR, OBJECT, OL, P, PLAINTEXT, PRE, RT, RUBY, S, SAMP, SELECT, SMALL, SPAN, STRIKE, STRONG, SUB, SUP, TABLE, TBODY, TD, TEXTAREA, TFOOT, TH, THEAD, TR, TT, U, UL, VAR, XMP

## Eventi attivabili dal trascinamento del mouse (drag and drop)

Lista eventi:

- `onDragDrop`: evento attivato quando un utente trascina un oggetto sulla finestra del browser o quando rilascia un file sulla stessa;
- `onMove`: attivato quando un oggetto muove una finestra o un frame;
- `onDragStart`: evento attivato appena l'utente inizia a trascinare un oggetto;
- `onDrag`: attivato quando il mouse trascina un oggetto o una selezione di testo nella finestra dello stesso browser o anche di un altro o anche sul Desktop;
- `onDragEnter`: attivato appena l'utente trascina un oggetto su un obiettivo valido dello stesso o di un altro browser;
- `onDragOver`: attivato quando l'utente trascina un oggetto su un obiettivo valido ad ospitarlo, ed è simile all'evento precedente, ma viene attivato dopo quello;
- `onDragLeave`: attivato quando l'utente trascina un oggetto su un obiettivo adatto per ospitarlo, ma non vi viene rilasciato;
- `onDragEnd`: attivato quando l'utente rilascia l'oggetto al termine del trascinamento.
- `onDrop`: attivato quando il mouse si alza il tasto del mouse in seguito ad un'operazione di trascinamento;

## Tag di applicazione

A, ADDRESS, APPLET, AREA, B, BDO, BIG, BLOCKQUOTE, BODY, BUTTON, CAPTION, CENTER, CITE, CODE, DD, DFN, DIR, DIV, DL, DT, EM, EMBED, FIELDSET, FONT, FORM, HR, I, IMG, INPUT TYPE=BUTTON, INPUT TYPE=CHECKBOX, INPUT TYPE=FILE, INPUT TYPE=IMAGE, INPUT TYPE=PASSWORD, INPUT TYPE=RADIO, INPUT TYPE=RESET, INPUT TYPE=SUBMIT, INPUT TYPE=TEXT, KBD, LABEL, LEGEND, LI, LISTING, MAP, MARQUEE, MENU, NEXTID, NOBR, OBJECT, OL, P, PLAINTEXT, PRE, RT, RUBY, S, SAMP, SELECT, SMALL, SPAN, STRIKE, STRONG, SUB, SUP, TABLE, TBODY, TD, TEXTAREA, TFOOT, TH, THEAD, TR, TT, U, UL, VAR, XMP

## Eventi attivabili dall'utente con la tastiera

Lista Eventi:

`onKeyPress`: evento attivato quando un utente preme e rilascia un tasto o anche quando lo tiene premuto;

`onKeyDown`: attivato quando viene premuto il tasto;

`onKeyUp`: evento attivato quando un tasto, che era stato premuto, viene rilasciato;

onHelp: attivato quando un utente preme il tasto F1;

## Tag di applicazione

A, ADDRESS, APPLET, AREA, B, BDO, BIG, BLOCKQUOTE, BODY, BUTTON, CAPTION, CENTER, CITE, CODE, DD, DFN, DIR, DIV, DL, DT, EM, EMBED, FIELDSET, FONT, FORM, HR, I, IMG, INPUT TYPE=BUTTON, INPUT TYPE=CHECKBOX, INPUT TYPE=FILE, INPUT TYPE=IMAGE, INPUT TYPE=PASSWORD, INPUT TYPE=RADIO, INPUT TYPE=RESET, INPUT TYPE=SUBMIT, INPUT TYPE=TEXT, KBD, LABEL, LEGEND, LI, LISTING, MAP, MARQUEE, MENU, NEXTID, NOBR, OBJECT, OL, P, PLAINTEXT, PRE, RT, RUBY, S, SAMP, SELECT, SMALL, SPAN, STRIKE, STRONG, SUB, SUP, TABLE, TBODY, TD, TEXTAREA, TFOOT, TH, THEAD, TR, TT, U, UL, VAR, XMP

## Eventi attivabili dalle modifiche dell'utente

### onChange

Attivato quando il contenuto di un campo di un form o modulo è modificato o non è più selezionato. Viene utilizzato anche con gli oggetti FileUpload, Select, Text, TextArea.

Esempio:

```
<input type="text" value="Enter email address" name="userEmail" onChange=validateInput(this.value) />
<script type="text/javascript">
  this.myForm.userEmail.focus();
  this.myForm.userEmail.select();

  function validateInput()
  {
    userInput = new String();
    userInput = this.myForm.userEmail.value;
    if (userInput.match("@"))
      alert("Thanks for your interest.");
    else
      alert("Please check your email details are correct before submitting");
  }
</script>
```

### onCellChange

Attivato quando si modifica un elemento in un Database, per questa sua caratteristica ha un uso non propriamente legato a Javascript;

### **onPropertyChange**

Evento attivato quando cambia la proprietà di un elemento;

### **onReadyStateChange**

Evento attivato quando lo stato del caricamento di un elemento cambia, l'evento è utile, ad esempio, per verificare che un elemento sia stato caricato.

### **Tag di applicazione**

A, ADDRESS, APPLET, AREA, B, BDO, BIG, BLOCKQUOTE, BODY, BUTTON, CAPTION, CENTER, CITE, CODE, DD, DFN, DIR, DIV, DL, DT, EM, EMBED, FIELDSET, FONT, FORM, HR, I, IMG, INPUT TYPE=BUTTON, INPUT TYPE=CHECKBOX, INPUT TYPE=FILE, INPUT TYPE=IMAGE, INPUT TYPE=PASSWORD, INPUT TYPE=RADIO, INPUT TYPE=RESET, INPUT TYPE=SUBMIT, INPUT TYPE=TEXT, KBD, LABEL, LEGEND, LI, LISTING, MAP, MARQUEE, MENU, NEXTID, NOBR, OBJECT, OL, P, PLAINTEXT, PRE, RT, RUBY, S, SAMP, SELECT, SMALL, SPAN, STRIKE, STRONG, SUB, SUP, TABLE, TBODY, TD, TEXTAREA, TFOOT, TH, THEAD, TR, TT, U, UL, VAR, XMP

### **Eventi legati al "fuoco"**

#### **onFocus**

Questo handler è l'opposto di onBlur per cui si attiva quando l'utente entra in un campo;

#### **onBlur**

Viene attivato quando il puntatore del mouse o il cursore esce dalla finestra corrente utilizzando il mouse o il carattere TAB. Applicato ai moduli, invece, tale handler si avvia se si esce dal campo il cui tag contiene il controllo;

Esempio:



```
Enter email address <input type="text" value="" name="userEmail" onBlur=addCheck()>
<script type="text/javascript">
function addCheck()
{
  alert("Please check your email details are correct before submitting")
}
</script>
```

### **onSelect**

Attivabile quando si seleziona del testo all'interno di una casella di testo sia col mouse sia tenendo premuto SHIFT e selezionando con i tasti Freccia;

### **onSelectStart**

Si attiva quando si inizia a selezionare un evento;

### **onbeforeEditFocus**

Si attiva con un doppio click o con un click su un oggetto che ha già la selezione, quando questo è in DesignMode;

### **onLoseCapture**

Si attiva quando un oggetto perde la cattura del mouse.

### **Tag di applicazione**

A, ADDRESS, APPLET, AREA, B, BDO, BIG, BLOCKQUOTE, BODY, BUTTON, CAPTION, CENTER, CITE, CODE, DD, DFN, DIR, DIV, DL, DT, EM, EMBED, FIELDSET, FONT, FORM, HR, I, IMG, INPUT TYPE=BUTTON, INPUT TYPE=CHECKBOX, INPUT TYPE=FILE, INPUT TYPE=IMAGE, INPUT TYPE=PASSWORD, INPUT TYPE=RADIO, INPUT TYPE=RESET, INPUT TYPE=SUBMIT, INPUT TYPE=TEXT, KBD, LABEL, LEGEND, LI, LISTING, MAP, MARQUEE, MENU, NEXTID, NOBR, OBJECT, OL, P, PLAINTEXT, PRE, RT, RUBY, S, SAMP, SELECT, SMALL, SPAN, STRIKE, STRONG, SUB, SUP, TABLE, TBODY, TD, TEXTAREA, TFOOT, TH, THEAD, TR, TT, U, UL, VAR, XMP

Eventi attivabili dal caricamento degli oggetti

### **onLoad**

Questo handler funziona nel caricamento di oggetti, per lo più finestre e immagini;

### **onUnload**

È l'opposto del precedente e funziona quando si lascia una finestra per caricarne un'altra o anche per ricaricare la stessa (col tasto refresh);

### **onAbort**

L'Handler dell'evento onAbort permette di specificare del codice nel caso in cui l'utente blocchi il caricamento di un oggetto, o che si blocchi il caricamento di un'immagine.

Questo handler usa le seguenti proprietà dell'evento.

Esempio

```
<IMG NAME = "myPic" SRC = "images/myPic.gif" onAbort = "alert('Loading of image aborted!')">
```

### **onError**

Si attiva quando il caricamento di un oggetto causa un errore, ma solo se questo è dovuto ad un errore di sintassi del codice e non del browser così funziona su un link errato di un'immagine della pagina, ma non su un link errato di caricamento di una pagina intera. Opera non gestisce questo evento, ormai obsoleto: per una corretta gestione degli errori si utilizza il costrutto try... catch;

### **onBeforeUnload**

Questo handler funziona allo stesso modo di onUnload ma si carica in un momento prima;

## **onStop**

Questo handler funziona quando si ferma il caricamento della pagina con il tasto stop del browser e dovrebbe funzionare anche allo stesso modo di onUnload caricandosi prima di questo ma dopo onBeforeUnload.

## **Tag di applicazione**

onLoad Questo gestore è usato con i tag <BODY> e <FRAMESET> e da Javascript 1.1 anche con <IMG> mentre in Explorer occorre aggiungere anche i tag <SCRIPT>, <LINK>, <EMBED>, <APPLET>. In Javascript 1.2 in Netscape si aggiunge anche il tag <LAYER>.

onUnload Questo gestore è usato con i tag <BODY> e <FRAMESET> anche in Internet Explorer.

onAbort Questo gestore è usato solo con il tag <IMG> anche in Internet Explorer.

onError Questo gestore è usato solo con il tag <IMG> e con Window mentre in Internet Explorer anche con <OBJECT> e <STYLE>.

onBeforeUnload Questo gestore è usato con i tag <BODY> anche in Internet Explorer.

onStop Questo gestore è usato con i tag <BODY> anche in Internet Explorer.

## **Eventi attivabili dai movimenti delle finestre**

Lista Eventi:

onResize: Questo handler si attiva quando l'utente rimpicciolisce o ingrandisce una finestra o un frame o, in caso particolare per Explorer, un oggetto a cui siano stati fissati l'altezza e la larghezza o anche la posizione, come ad esempio un layer;

onScroll: attivato quando si effettua lo scrolling della pagina sia col mouse con i tasti PGUP e PGDOWN o anche con il metodo doScroll.

## Tag di applicazione

A, ADDRESS, APPLET, B, BIG, BLOCKQUOTE, BUTTON, CENTER, CITE, CODE, CUSTOM, DD, DFN, DIR, DIV, DL, DT, EM, EMBED, FIELDSET, FORM, FRAME, HN, HR, I, IMG, INPUT TYPE=BUTTON, INPUT TYPE=FILE, INPUT TYPE=IMAGE, INPUT TYPE=PASSWORD, INPUT TYPE=RESET, INPUT TYPE=SUBMIT, INPUT TYPE=TEXT, ISINDEX, KBD, LABEL, LEGEND, LI, LISTING, MARQUEE, MENU, OBJECT, OL, P, PRE, S, SAMP, SELECT, SMALL, SPAN, STRIKE, STRONG, SUB, SUP, TABLE, TEXTAREA, TT, U, UL, VAR, WINDOW, XMP

## Eventi legati a particolari bottoni

onSubmit: Questo handler è attivato dal click su tasto di Invio di un form;

onReset: questo handler è attivato dal click su tasto di Annulla di un form.

## Tag di applicazione

Handler applicabile solamente all'oggetto Form.

## Gestione degli errori

Le versioni più nuove di JavaScript (come quelle usate in Internet Explorer 5 e Netscape 6) includono la possibilità di un costrutto try... catch per la gestione degli errori.

Il costrutto try ... catch ... finally intercetta le eccezioni generate da un errore o da un'istruzione throw. La sua sintassi è la seguente:

```
try {  
    // Istruzioni in cui possono essere lanciate delle eccezioni  
} catch (error) {  
    // Istruzioni da eseguire in caso di eccezione  
} finally {  
    // Istruzioni da eseguire successivamente in entrambe i casi  
}
```

Inizialmente, vengono eseguite le istruzioni all'interno del blocco try. Se viene lanciata un'eccezione, il flusso di controllo dello script viene passato immediatamente alle istruzioni del blocco catch, con l'eccezione che viene resa disponibile come argomento error. In caso contrario, il blocco catch viene

saltato. Una volta che il blocco catch è concluso, o il blocco try viene eseguito fino alla fine senza che sia lanciata alcuna eccezione, vengono eseguite le istruzioni nel blocco finally.

### **Usi frequenti nei browser web**

JavaScript può essere usato per ogni aspetto dello scripting lato client di un browser web, ma alcuni usi si sono diffusi più di altri. Esempi frequenti includono il rimpiazzo delle immagini, la creazione di finestre pop-up, e la validazione del contenuto delle form.

Nella maggior parte dei browser moderni, il seguente pezzetto di codice XHTML mostra un modo con cui un'immagine può essere scambiata con un'altra quando l'utente muove il cursore su di essa (è chiamato spesso effetto rollover o mouse over). Comunque comportamenti simili possono essere ottenuti anche usando solo i CSS.

```
<img src = "normal.png"
  onclick = "window.location.href='http://en.wikipedia.org/'"
  onmouseover = "this.src='rollover.png'"
  onmouseout = "this.src='normal.png'" />
```

### **Filiazioni**

Un nuovo esempio di uso di JavaScript sono i Bookmarklet, piccole sezioni di codice all'interno dei segnalibri o Preferiti dei browser web.

Il linguaggio di programmazione usato in Macromedia Flash (chiamato ActionScript) ha una forte somiglianza con JavaScript, dovuta alla loro relazione condivisa con ECMAScript. ActionScript ha quasi la stessa sintassi di JavaScript, ma il modello a oggetti è decisamente diverso.

JavaScript for OSA (JavaScript OSA, or JSOSA), è un linguaggio di scripting per Macintosh basato sull'implementazione JavaScript 1.5 di Mozilla. È un componente freeware reso disponibile da Late Night Software. L'interazione con il sistema operativo e con le applicazioni di terze parti è gestita tramite un oggetto MacOS. A parte ciò, il linguaggio è virtualmente identico all'implementazione Mozilla. È stato proposto come alternativa al più usato linguaggio AppleScript.

## Adobe CS3

Adobe Flash (in precedenza Macromedia Flash e ancora prima FutureSplash) è un software per uso prevalentemente grafico che consente di creare animazioni vettoriali principalmente per il web. Viene utilizzato inoltre per creare giochi o interi siti web e grazie all'evoluzione delle ultime versioni è divenuto un potente strumento per la creazione di Rich Internet Application e piattaforme di streaming audio/video. Viene inoltre incorporato nei Media Internet Tablet (M.I.T.) della Archos.

### Caratteristiche

Flash permette di creare animazioni complesse e multimediali. All'interno di esse infatti si possono inserire:

- forme vettoriali, che sono gli oggetti principali con cui Flash permette di lavorare.
- testo (sia statico sia dinamico) e caselle di input per il testo.
- immagini raster (Bitmap, GIF, Jpeg, PNG, TIFF e altri formati) sotto forma di oggetto bitmap.
- audio (MP3, WAV e altri), sia in streaming che per effetti sonori.
- video (AVI, QuickTime, MPEG, Windows Media Video, FLV).
- altre animazioni create con Flash (tramite ActionScript o interpolazioni).

Inoltre permette di creare animazioni interattive, grazie alla presenza di un linguaggio di scripting interno. Tramite questo linguaggio, denominato ActionScript e basato su ECMAScript, è possibile applicare comportamenti agli oggetti o ai fotogrammi dell'animazione. Inizialmente erano presenti solo poche azioni, ma allo stato attuale ActionScript è diventato uno strumento molto potente. Grazie ad esso si possono creare infatti menu, sistemi di navigazione, GUI, siti web completi e giochi anche complessi.

Un'altra caratteristica importante è la possibilità di mantenere simboli riutilizzabili in una libreria. Esistono diverse tipologie di simboli, fra i quali semplici oggetti grafici, clip filmato (sotto-animazioni con una timeline propria e indipendente da quella principale), pulsanti, oggetti bitmap, ecc. Questa caratteristica è molto importante, in quanto permette di:

- semplificare il lavoro dello sviluppatore, che può modificare tutte le istanze presenti nell'animazione modificando il simbolo nella libreria.
- ridurre le dimensioni del file SWF prodotto.
- creare comportamenti interattivi complessi applicando del codice agli oggetti.

### Cronologia

Dicembre 1996 - Macromedia acquisisce un software per animazioni vettoriali chiamato FutureSplash e successivamente lo commercializza come Flash 1.

Giugno 1997 - Viene messo in commercio Flash 2, con novità quali il supporto all'audio stereo e una migliore gestione delle bitmap, oltre all'ingresso nel programma della libreria dei simboli.

Maggio 1998 - Flash 3 - Introduzione del simbolo "clip-filmato" e della trasparenza.

Giugno 1999 - Flash 4 - Grande sviluppo di ActionScript, con la possibilità di definire variabili, introduzione dello streaming MP3.

Agosto 2000 - Flash 5 - Nuova evoluzione del linguaggio, che diviene ActionScript 1.0 (basato su ECMAScript - più noto come JavaScript), supporto per l'XML, possibilità di inserire HTML nei campi di testo.

Marzo 2002 - Flash MX - Primo codec video (Sorenson Spark), supporto per Unicode, introduzione dei componenti, possibilità di creare filmati accessibili, API di disegno in ActionScript.

Settembre 2003 - Per la prima volta vengono commercializzate due versioni: Flash MX 2004 e Flash MX Professional 2004. Entrambe comprendono il linguaggio evoluto ActionScript 2.0 (che supporta la programmazione orientata agli oggetti in modo migliore) e un nuovo compilatore ottimizzato, la possibilità di creare plugin con JSAPI ed effetti predefiniti. La versione Professional comprende una nuova modalità di creare animazioni, basata su form e simile a PowerPoint, integrazione con i web services, nuovi componenti per gestire lo streaming audio/video e per accedere ai database, il pannello dei progetti.

Settembre 2005 - Messi in commercio Flash Basic 8 e Flash Professional 8. Integrato il supporto al codec video On2 VP6.

Dicembre 2005 - Adobe Systems acquisisce Macromedia e i suoi prodotti (incluso Flash). [1]

Maggio 2007 - Distribuita la versione inglese di Flash Professional CS3 (Creative Suite 3), nona release dell'ormai celebre Flash. Contemporaneamente Microsoft annuncia una soluzione alternativa, Silverlight, parte del framework Media Foundation.

Novembre 2008 - La suite CS4 è uscita nel novembre 2008 in lingua italiana.

Maggio 2010 - La suite CS5 è uscita nel maggio 2010 in lingua italiana.

## **Flash Player**

Per visualizzare i siti e le applicazioni creati con flash e Flex, Adobe mette a disposizione gratuitamente il player.

L'ultima versione rilasciata è la 10.1, disponibile per Microsoft Windows 98, Me, 2000, XP, Server 2003, Mac OS X, Linux e Android OS 2.2 Froyo. Qui è possibile verificare la versione installata.

Il player è disponibile in versione stand-alone e come plugin per i browser (o controllo ActiveX per Internet Explorer).

Lo stesso player è disponibile per altre piattaforme quali Pocket PC, Maemo, OS/2, Sun Solaris, HP-UX, IRIX. Anche la Playstation portatile PSP, la Playstation 3 e la console casalinga Nintendo Wii, supportano la visualizzazione dei filmati SWF, la prima tramite un plug-in proprietario (alla versione 7), la seconda tramite il plug-in per il browser integrato (alla versione 9), la terza anch'essa tramite il plug-in del browser Opera integrato.

È disponibile anche una versione del Flash player Macromedia per dispositivi mobili, denominato Macromedia Flash Lite e giunto alla versione 3, che permette la visualizzazione di filmati flash .SWF direttamente su cellulari e altri device.

Il principale software libero per vedere animazioni Flash è Gnash.

Nel mondo Internet il formato Flash (estensione .swf) degli oggetti creati con l'omonimo programma, rappresentano ormai uno standard per la creazione di contenuti animati ed interattivi.

Ormai la quasi totalità dei browser supportano il plug-in del player che consente la visione, appunto, di animazioni di grafica vettoriale così come la visione in streaming di filmati video. Windows XP, ad esempio, include di default la versione 5 del controllo ActiveX per Internet Explorer.

Nella pagina Flash Player Penetration è possibile controllare la percentuale di utenti raggiunta dalle diverse tecnologie web, mentre nella pagina Flash Player Version Penetration è possibile controllare la distribuzione globale delle varie versioni del player.

### **Cascading StyleSheet (CSS)**

Il CSS (Cascading Style Sheets), è un linguaggio usato per definire la rappresentazione di documenti HTML, XHTML e XML. Le regole per comporre il CSS sono contenute in un insieme di direttive (Recommendations) emanate a partire dal 1996 dal W3C. L'introduzione del CSS si è resa necessaria per separare i contenuti dalla formattazione e permettere una programmazione più chiara e facile da utilizzare, sia per gli autori delle pagine HTML che per gli utenti.



## **Motivi ed evoluzione dei CSS:**

### **Prima dei CSS**

Una pagina web è formata fondamentalmente da due elementi: i contenuti veri e propri e la formattazione ovvero l'aspetto con cui i contenuti sono mostrati all'utente.

Il linguaggio HTML (e la sua evoluzione XHTML) ha come scopo quello di gestire i contenuti associandone o specificandone allo stesso tempo la struttura grafica (layout) all'interno della pagina web da realizzare grazie all'utilizzo di tag diversi. Ogni tag (ad esempio `<h1>` o `<p>`) specifica un diverso ruolo dei contenuti che esso contrassegna (quindi il tag `<h1>` definirà un'importanza maggiore del tag `<p>`).

I browser che interpretano il codice (X)HTML mostrano all'utente formattazioni predefinite per ogni tag che incontrano (così ad esempio i contenuti marcati con il tag `<h1>` avranno carattere 18pt e i contenuti marcati da `<p>` avranno carattere 12pt). Tuttavia questa formattazione è completamente sotto il controllo dell'utente, che può modificarla nelle Impostazioni del suo browser.

Per permettere agli autori di definire l'aspetto delle loro pagine, dal 1993 in poi Netscape Navigator ed Internet Explorer, i due browser che si disputavano gli utenti nella nota guerra dei browser, presentarono tag proprietari, ovvero non aderenti agli standard e non compatibili con i browser concorrenti. Un esempio di questi tag è `<font>` che va a definire il font.

Questi tag proprietari di formattazione erano l'unico modo per gli autori di definire la formattazione e così il loro uso è diventato massiccio. Tuttavia questi tag presentano tre problemi:

Il primo problema è costituito dalla lunghezza di questi tag. Se confrontata con una pagina che adotta il linguaggio CSS, una pagina che non lo adotta è in genere più pesante (in termini di bit) in un rapporto che spesso raggiunge il 200%. Inoltre le istruzioni CSS possono essere raccolte in un file esterno che rimane memorizzato nella cache del browser, riducendo ulteriormente la quantità di dati che i server devono trasmettere.

Il secondo problema risiede nella mancanza di logica del codice (X)HTML. Un codice non aderente agli standard, ridondante e confuso comporta infatti molto lavoro aggiuntivo per i browser, che devono cercare di correggere ed interpretare (quando possibile) direttive arbitrarie.

Il terzo problema comincia a diventare sempre più rilevante ed è la mancanza di compatibilità con i nuovi computer palmari e gli smartphone. Queste pagine infatti sono progettate per schermi con risoluzione

minima 800x600 pixel. I palmari, che hanno una risoluzione inferiore ed una forma dello schermo ben diversa dal rapporto 4:3 dei monitor per computer, si trovano quindi impossibilitati a visualizzare correttamente la pagina e l'utente dovrà tentare di "decodificarla", operazione spesso molto scomoda.

Si tende ad evidenziare anche un'ulteriore questione, nelle pagine web non standard, ovvero l'uso del tag `<table>` (le tabelle) per realizzare l'impaginazione delle pagine web. Questo viene considerato dai puristi come inaccettabile in quanto le tabelle sono pensate per impaginare dati tabulari e non layout web. In realtà l'unico svantaggio serio di questo sistema è l'incredibile peso delle pagine, come già indicato al problema 1.

## **CSS 1**

Per tentare di risolvere questa situazione, nel 1996 il W3C emanò le specifiche CSS 1. I CSS 1 erano un interessante sistema per separare contenuto da formattazione. La base di questo linguaggio, infatti, consisteva nel fatto che il contenuto sarebbe stato sempre definito dal codice (X)HTML, mentre la formattazione si sarebbe trasferita su un codice completamente separato, il CSS appunto. I richiami tra i due codici venivano effettuati tramite due particolari attributi: class e ID. Queste specifiche:

Erano un'efficace soluzione al primo problema (escludendo la questione del tag `<table>`) perché riducevano notevolmente le dimensioni della pagine.

Risolvevano il secondo in modo parziale perché consentivano al codice (X)HTML di ritornare in gran parte semplice ed essenziale, ma presentavano qualche mancanza che costringeva a ricorrere ai tag HTML.

Non prendevano però in considerazione il terzo, dato che nel 1996 i PDA (i palmari) erano scarsamente diffusi.

I CSS 1 sviluppavano un'idea semplice ma efficace, ma nonostante le loro grandi potenzialità non ebbero successo a causa della mancanza di browser in grado di supportarli.

## **CSS 2 e CSS 2.1**

Per includere nuove funzionalità e rendere i CSS un linguaggio ben supportato, nel 1998 il W3C emanò le specifiche CSS 2 e nel 2004 le specifiche CSS 2.1. I CSS 2 sono la naturale evoluzione dei CSS 1 ed offrono potenti soluzioni per risolvere soprattutto il problema tre, con la possibilità di creare fogli di stile separati per i dispositivi portatili. Anche il problema due è ormai pienamente risolvibile, scrivendo una pagina (X)HTML esclusivamente indirizzata alla struttura e ai contenuti e manovrandola poi esclusivamente con i

CSS per impaginarla. Con la comparsa di Internet Explorer 5, di Firefox e di Opera 7, i CSS 2 hanno potuto avvalersi di browser in grado di interpretarli e sono quindi entrati a far parte del codice di molti siti web.

### CSS 3

Le specifiche CSS 3 non sono state ancora rilasciate, sebbene il W3C pubblichi costantemente informazioni sulle novità in fase di sviluppo. I CSS 3 dovrebbero presentare soluzioni per la correzione di alcuni bug di interpretazione di Internet Explorer, migliorie nella gestione degli sfondi e una soluzione per realizzare i bordi arrotondati la cui realizzazione affligge i webdesigner da tempo.

### Il codice CSS:

#### Inserire il codice

L'inserimento di codice CSS nelle pagine web può essere effettuato in quattro modi:

Inserendo nel tag <head> della pagina in codice HTML un collegamento ad un foglio di stile esterno, cioè un file contrassegnato dall'estensione .css come negli esempi seguenti, tramite direttiva `import` o tramite `link`:

```
<html>
<head>
<title>Esempio</title>
<link rel="stylesheet" type="text/css" href="foglio_di_stile.css">
</head>
```

o

```
<html>
<head>
<title>Esempio</title>
<style type="text/css">
@import url(foglio_di_stile.css);
</style>
</head>
```

Inserendo, sempre all'interno dell'<head> tra gli specifici tag <style> e </style> le dichiarazioni css.

```
<html>
<head>
```

```
<title>Esempio</title>
<style type="text/css">
codice css
</style>
</head>
```

Inline all'interno degli elementi

## Una regola CSS

Le regole CSS sono strutturate secondo il seguente schema (gli spazi sono tutti facoltativi):

```
selettore {
proprietà1 : valore1;
proprietà2 : valore2, valore3;
}
```

Gli elementi sono illustrati di seguito.

### Selettori:

#### Selettori di tipo

I selettori di tipo applicano la regola a tutti gli elementi della pagina del tipo determinato. Esempi:

```
body {
[...]}
o
```

```
p {
[...]}
}
```

#### Classi

Le classi applicano la regola a tutti gli elementi della pagina che presentano la proprietà `class="nome_classe"`. La sintassi CSS è la seguente:

```
.nome_classe {
[...]}
}
```

#### Identificatori

Gli identificatori (comunemente ID) applicano la regola a quell'elemento della pagina che presenta la proprietà `id="nome_identificatore"`. Gli ID contraddistinguono elementi unici. La sintassi CSS è la seguente:

```
#nome_identificatore {  
  [...]  
}
```

## Pseudoclassi

Le pseudoclassi identificano elementi in base alle loro proprietà.

`first-child` individua un elemento solo se è il primo figlio dell'elemento padre. Così quindi

```
p:first-child {  
  [...]  
}
```

individuera nel codice (X)HTML sottostante solo il primo paragrafo.

```
<body>  
<p>Lorem ipsum</p>  
<p>Lorem ipsum</p>  
<p>Lorem ipsum</p>  
</body>
```

`link` e `visited` si applicano ai collegamenti. La prima identifica i collegamenti non visitati, la seconda quelli visitati. La sintassi CSS è:

```
a:link {  
  [...]  
}
```

`active`, `focus` e `hover` identificano gli elementi solo in particolari condizioni, la prima se l'elemento è attivo, la seconda se è selezionato, la terza se il puntatore è sopra di lui. Quindi

```
p:hover {  
  [...]  
}
```

si applicherà solo se il puntatore del mouse andrà sopra un paragrafo e solo per il tempo che vi rimarrà.

lang si utilizza per identificare gli elementi di una certa lingua ma il suo supporto è esiguo.

### **Pseudoelementi**

Gli pseudoelementi identificano solo una parte di un elemento, senza la necessità di utilizzare la marcatura (X)HTML.

first-line individua solo la prima linea di un paragrafo. Se la finestra del browser cambia dimensione si adatterà automaticamente alla nuova dimensione della linea. La sintassi CSS è la seguente:

```
p:first-line {  
  [...]  
}
```

first-letter individua solo il primo carattere di un elemento.

before e after sono due pseudoclassi utilizzate nella creazione dei contenuti generati. Non individuano un elemento, ma una posizione dove creare i contenuti. Sono poco utilizzate, dato il mancato supporto di Internet Explorer.

### **Selettore di discendenza, figlio e fratello**

Identificano solamente gli elementi che si trovino in una particolare condizione di discendenza nella struttura (X)HTML della pagina.

Il selettore di discendenza identifica solo gli elementi contenuti in altri elementi. Così

```
p span {  
  [...]  
}
```

identifica solo gli elementi <span> contenuti in elementi <p>.

Il selettore figlio identifica invece solo gli elementi che siano contenuti direttamente nell'elemento padre.

Così

```
div > p {  
  [...]  
}
```

individua solo i <p> contenuti direttamente in un <div>.

Il selettore fratello identifica il primo elemento immediatamente successivo ad un altro con cui condivide lo stesso padre. Così

```
h1 + p {  
  [...]  
}
```

individua solo il primo <p> fratello di <h1>

### Selettore di attributi

Il selettore di attributi permette, tramite la sintassi che segue, di identificare elementi (X)HTML in base ai loro attributi.

```
a[title=Esempio]{  
  [...]  
}
```

Questa regola si applica solo agli elementi <a> che presentano l'attributo title="Esempio". I selettori di attributi sono molti e permetterebbero un controllo eccellente della pagina, ma Internet Explorer non li supporta ed il loro uso è quindi molto limitato.

### Proprietà

Le proprietà CSS sono molto numerose, circa 60. Le più utilizzate sono:

**background.** Definisce lo sfondo di un elemento. È una scorciatoia (shorthand properties) per background-attachment, background-color, background-image, background-position e background-repeat.

**border.** Definisce il bordo di un elemento. È una scorciatoia (shorthand properties) per 'border-color, border-style e border-width.

**color.** Definisce il colore del testo di un elemento. Per definire lo sfondo si utilizza la proprietà background.

**float.** Questa proprietà definisce un blocco flottante, ovvero che permette la disposizione di altri elementi ai suoi lati.

**font.** Definisce le proprietà del carattere. È una scorciatoia (shorthand properties) per font-family, font-size e font-weight.

**margin e padding.** Definiscono lo spazio circostante gli elementi. La prima lo spazio esterno ai bordi, la seconda quello interno.

**text-align.** Definisce l'allineamento degli elementi, tra cui il testo.

## Valori

Se non specificata, una proprietà assume i valori predefiniti di ogni browser, o in seconda istanza lo stile utente scelto, altrimenti può assumere uno dei seguenti:

- inherit
- auto
- numero
- percentuale
- colore
- URI
- font
- altri valori tipici di ogni proprietà

La stringa inherit specifica che la proprietà deve ereditare il valore dagli elementi da cui l'elemento discende.

La stringa auto ha significati molto diversi a seconda della proprietà a cui viene assegnata.

Se i numeri sono contraddistinti da un'unità di misura è necessario che tale unità sia espressa (tranne che nel caso dello zero). Tra il numero e l'unità non devono esserci spazi, come nell'esempio che segue.

```
p {  
  margin : 5px;  
  border: 1em;  
  padding: 0;  
}
```

I colori possono essere indicati con più di un sistema. Ad esempio il colore arancione può essere indicato con



```
#ff6600
#f60
rgb(255,102,0)
rgb(100%,40%,0%)
```

L'URL viene indicato nelle forme

```
url(http://esempio.it/file.html)
url("http://esempio.it/file.html")
```

I CSS permettono di indicare nella proprietà font-family più di un font, o una famiglia di font (serif e sans). In questo modo il browser utilizzerà il primo che troverà installato sul sistema operativo. La dichiarazione utilizza questa sintassi:

```
p {
  font-family : "Arial", "Verdana", serif;
}
```

## Browser e CSS

Il supporto completo e corretto delle specifiche CSS non è offerto da nessun browser attuale. Tuttavia esistono browser che si avvicinano molto a questo risultato ed altri che invece ne sono molto lontani. La lista che segue è di motori di rendering perché a loro è assegnato il compito di formattare la pagina secondo le istruzioni CSS.

Trident (Internet Explorer e AOL Browser): Internet Explorer è attualmente il browser più diffuso e il suo supporto molto scarso dei CSS è probabilmente il maggior freno al loro sviluppo. Explorer presenta infatti molti banchi nella formattazione delle pagine, che le rendono diverse da quelle ottenute con altri browser. In aggiunta ai banchi, Explorer non supporta assolutamente alcune porzioni delle specifiche CSS 2. Le mancanze più gravi sono l'assenza di supporto per i contenuti generati e per il selettore di attributo. Gli unici strumenti a disposizione dei webdesigner sono i commenti condizionali, una particolare funzionalità di Explorer che consente di inviare istruzioni solo a questo browser. La sintassi dei commenti condizionali è la seguente:

```
<!--[if IE]>
```

codice esclusivamente per Internet Explorer

```
<![endif]-->
```

poiché `<!--` introduce di norma un commento, i browser diversi da Explorer 5.0 o superiori non interpretano il codice. I commenti condizionali permettono di specificare un foglio di stile specifico per Internet Explorer nel modo che segue:

```
<!--[if IE]>
<link rel="stylesheet" type="text/css" href="foglio_di_stile_per_IE.css">
<![endif]-->
```

- Gecko (Firefox e Netscape): Gecko ha un ottimo supporto dei CSS 1 e 2 ed è per questo spesso utilizzato nella verifica della resa delle pagine web.
- Presto (Opera): anche Presto offre un ottimo supporto dei CSS 1 e 2. Opera offre inoltre un'opzione che permette all'utente di disattivare i fogli di stile o usarne di propri.
- KHTML e WebKit (Safari, Chrome e Konqueror): KHTML è attualmente il motore che offre il maggior supporto ai CSS, offrendo una parziale interpretazione anche dei CSS 3.

Oltre alle differenze di compatibilità, ogni motore di rendering aggiunge ai css standard nuovi elementi o proprietà. Esempi di queste situazioni sono tutti i css che offre gecko che iniziano con "-moz", come per esempio : -moz-border-radius(una proprietà per arrotondare i bordi di un elemento) o -moz-grabbing (un valore di cursor che fa apparire il mouse come una manina).

### **CSS sui diversi dispositivi**

Una utilissima funzione dei CSS è la possibilità di essere applicati solo sui dispositivi (media) specificati dall'autore. La sintassi (X)HTML da utilizzare è la seguente.

```
<link rel="stylesheet" type="text/css" href="foglio.css" media="screen">
```

Il codice precedente associa il foglio di stile solo (in teoria) ai browser standard per computer desktop e portatili. I valori dell'attributo media sono i seguenti:

- screen (desktop e laptop)
- handheld (PDA e smartphone)
- print (stampanti)
- braille (browser braille)

- embossed (stampanti braille)
- projection (proiezioni)
- speech o aural (sintetizzatori vocali)
- tty (telescriventi)
- tv (televisori)
- all (qualsiasi dispositivo)

Sebbene il numero dei dispositivi gestibili tramite CSS sia notevole, soltanto i primi tre sono supportati in maniera sufficiente. Il media screen è quello standard cui si fa riferimento. Il media handheld è specifico per i palmari, ma alcuni browser per palmari tentano, spesso con scarso successo, di interpretare anche i fogli marcati con screen, per cui si preferisce in genere marcare con handheld sia il foglio per lo schermo che quello per il palmare e poi usare quest'ultimo per sovrascrivere le istruzioni del primo. Il media print codifica la pagina per la stampa, è supportato discretamente. Un supporto completo è garantito da Opera.

### **Fogli di stile preferiti e alternativi**

Come descritto, ad ogni pagina si possono collegare più fogli di stile. Tuttavia è anche possibile far scegliere all'utente quali applicare. Per farlo si definiscono innanzitutto i fogli di stile permanenti, cioè non disattivabili, secondo la sintassi già vista. Poi si definiscono i fogli preferiti, cioè attivi al caricamento della pagina, ma disattivabili, aggiungendo l'attributo <title> come nell'esempio che segue:

```
<link rel="stylesheet" type="text/css" href="foglio_preferito.css" title="Esempio1">
```

A questo punto possiamo specificare fogli di stile alternativi cioè non attivi al caricamento, ma attivabili dall'utente, come nell'esempio che segue:

```
<link rel="alternate stylesheet" type="text/css" href="foglio_alternativo.css" title="Esempio2">
```

Per attivare e disattivare i fogli di stile l'utente può ricorrere all'apposito menu del suo browser, tuttavia Internet Explorer non offre questa possibilità quindi è necessario creare uno script Javascript che svolga la funzione di sostituire i fogli. Il codice è stato pubblicato la prima volta su (EN) A List Apart ed è ora comunemente utilizzato. Tuttavia se questo script è facile da mettere in opera per gli sviluppatori, richiede un browser moderno con un buon supporto del DOM, oltre che avere attivati sia Javascript e i cookie. Un sistema più complesso ma molto più robusto può essere uno script lato server come PHP.

## Tecnologie software adoperate nel progetto

### Windows 2003 Server

Successore di Windows 2000, Microsoft Windows Server 2003 (Nome in codice Whistler Server, o anche Windows NT 5.2 o ancora Windows .NET Server) (2003) è una tappa della evoluzione della serie server dei sistemi operativi di Microsoft. Windows Server 2003 è basato sulla provata stabilità di Windows 2000 Server e la compatibilità con altre caratteristiche di Windows XP.

Inizialmente, il nome del nuovo sistema operativo doveva essere "Windows .NET Server 2003," per promuovere la nuova piattaforma Microsoft .NET. Per evitare confusioni, Microsoft ha deciso di dedicare la parola .NET solo alla piattaforma Microsoft .NET e il .NET Framework.

#### **Caratteristiche di Windows Server 2003:**

##### **Terminal Services**

Internet Information Services (IIS): Giunto alla versione 6, migliorato nelle prestazioni e dedicato soprattutto a applicazioni web ASP.NET

##### **Active Directory**

Incrementato il livello di sicurezza grazie a un firewall interno e al limitato avvio dei servizi che potrebbero essere inutili e pericolosi.

##### **Nuove caratteristiche**

Rispetto a Windows 2000 Server, sono state aggiunte diverse funzionalità:

- Nuove funzionalità di Active Directory (come la possibilità di cancellare classi dagli schemi);
- Nuove funzionalità del Group Policy;
- Nuove funzionalità per la gestione dei dischi e il backup dei dati (da notare il backup dei file aperti);
- Integrazione del .Net Framework 1.1;
- Nuovi strumenti e linguaggi di scripting.

##### **Service Pack 1**

Il 30 marzo 2005, Microsoft ha rilasciato il primo sostanziale aggiornamento per Windows Server 2003 con un numero di build finale di 5.2.3790.1830.srv03\_rtm.050324-1447. Molte nuove funzionalità del Service

Pack 1 possiamo eguagliarle al Service Pack 2 di Windows XP (sul quale questo Service Pack è basato). L'edizione di x64 di Windows XP è basata sul Service Pack 1.

Alcuni aggiornamenti riguardano:

Hot Patching: ora, quando vengono installate patch, driver o qualsiasi aggiornamento, non è necessario riavviare il sistema operativo;

Windows Firewall: Funzionalità già presente e potenziata (come in Windows XP), aumenta il livello di sicurezza dell'intero sistema, versione ISA solo nella versione "Enterprise";

Post-Setup Security Updates: Quando si è appena installato Windows Server 2003, questa nuova funzionalità scarica automaticamente tutte le nuove patch rilasciate e blocca tutte le connessioni in entrata per permettere di configurare correttamente il server e evitare attacchi informatici;

Data Execution Prevention (DEP): Supporto per il No Execute (NX), aiuta a prevenire vulnerabilità, specialmente per il buffer overflow;

Una lista completa delle nuove caratteristiche del Service Pack 1 si trova qui.

### **Windows Server 2003 R2**

Un aggiornamento principale di Windows Server 2003, chiamato ufficialmente R2, è stato rilasciato il 6 dicembre 2005 con numero di build finale di 5.2.3790.2075.dnsvr\_r2.051122-2350 (su cys.exe). Alcuni aggiornamenti riguardano:

- Integrazione del Branch Office Server Management
- Gestione centralizzata di file e stampanti;
- Implementata l'interfaccia di gestione del namespace di Distributed File System (DFS);
- Gestione delle identità e accessi
- Gestione dei dati
- Implementato il File Server Resource Manager che regola e registra tutte le operazioni sui file;
- Gestione avanzata di una eventuale rete Storage Area Network (SAN);
- Virtualizzazione dei server
- Implementata una nuova gestione delle licenze che permette di eseguire fino a 4 istanze virtuali.

### **Service Pack 2**

Nel maggio del 2006 inizia il beta testing del Service Pack 2 per Windows Server 2003 e Windows XP Professional x64 Edition con una prima build beta (5.2.3790.2721.dnsv.060611-1056). Dopo quasi un anno di sviluppo, il 14 marzo 2007 viene rilasciato in versione finale (con numero di build 5.2.3790.3959.srv03\_sp2\_rtm.070216-1710), inizialmente solo in lingua inglese.[2]

## **Edizioni**

Esistono diverse edizioni di Windows Server 2003, ognuna secondo le diverse richieste aziendali:

- Web Edition
- Standard Edition
- Enterprise Edition
- Datacenter Edition
- Small Business Server
- Storage Server
- Compute Cluster Server

La versione utilizzata nel nostro progetto è la R2 Enterprise Edition

## **Microsoft Access**

Microsoft Access è un relational database management system che serve in parte a salvare dati, realizzato da Microsoft, incluso nel pacchetto Microsoft Office Professional ed unisce il motore relazionale Microsoft Jet Database Engine con una interfaccia grafica.

## **Formato dati**

Può utilizzare dati immagazzinati in formato Access/Jet, SQL Server, Oracle o qualsiasi database in formato compatibile ODBC. La struttura di salvataggio segue il modello tabella relazionale: ossia è possibile immagazzinare i dati da gestire in tabelle composte da un numero elevato di record, ed ogni record contiene i dati distinti per campi. Se una tabella non fosse sufficiente per immagazzinare i dati necessari e fosse necessario utilizzarne altre, è possibile a questo punto collegare le varie tabelle tra di loro con una relazione. Questo consente l'esame dei dati contenuti nel database utilizzando diverse tabelle e quindi giungere ad una pluralità di dati anche complessa.

### **Utilizzi possibili**

L'utilizzo più diffuso e con il migliore equilibrio prestazioni/costi corrisponde ad un impiego desktop (usufruendo quindi del motore JET) indirizzato ad applicazioni concepite per LAN con meno di dieci utenti. È comunque molto sfruttato come Front-Editor verso Database Server per applicazioni destinate a vaste multiutenze. La sua interagibilità nell'utilizzo si apprezza se interfacciato con il pacchetto Office (Word, Excel) o con altri gestionali che permettono un trattamento dei dati esterno. La possibilità data da Access di utilizzare strumenti con creazioni guidate consente una rapida capacità anche per sviluppatori principianti. Infine, l'utilizzo di Access assume il massimo delle prestazioni quando viene utilizzato all'interno di esso il codice VBA, Visual Basic for Applications che consente la realizzazione di applicazione dal contenuto professionale che poco hanno da invidiare ad applicativi realizzati con altre strutture. Con VBA l'elasticità, la rapidità e la gestione del database permette una più efficace risposta da parte dell'applicazione anche a interrogazioni ed elaborazioni complesse. Può essere utilizzato a differenti livelli sia da sviluppatori software esperti, sia da programmatori alle prime armi per sviluppare applicativi anche molto complessi.

Il programma non possiede un registratore di macro come quello di Excel o Open Office. Le macro sono create da un pannello che indica le azioni da eseguire e il loro argomento, sia come tipo di oggetto che percorso e nome per raggiungerlo.

Access non è in grado di fare il merge fra due tabelle, non supporta un legame di tipo full outer join fra i dati, che crei una tabella con tutte le occorrenze di quelle di origine e i rispettivi campi. I possibili legami fra campi di due tabelle prevedono la selezione delle occorrenze comuni, di quella della prima e solo quelle della seconda che sono identiche, o viceversa (inner join, right e left outer join).

### **Memorizzazione dati**

A differenza di altri ambienti di sviluppo, in Access un unico file comprende tutti gli elementi utilizzabili per lo sviluppo di applicazioni complete: tabelle, query, maschere, report, macro, pagine e moduli. È comunque possibile, con tutte le versioni, progettare applicazioni nelle quali si mantenga la separazione fisica tra tabelle di dati (Back-End o BE) ed i restanti elementi (Front-End o FE). Queste soluzioni permettono di migliorare la distribuzione e la manutenzione di applicazioni condivise tra più utenti.

Le tabelle sono i contenitori dove vengono memorizzati i dati; è disponibile una interfaccia grafica elementare per la definizione o la modifica delle proprietà dei campi, inclusa la definizione degli indici e della chiave primaria (che può essere basata su più campi). Come nel caso di database professionali, il controllo della sintassi esercitato da Access può consistere in soli messaggi di avvertimento nei casi in cui la modifica dei campi può comportare perdita irreparabile dei dati (ad esempio, la riduzione della dimensione di un campo nel quale sono già presenti dati di lunghezza maggiore): questo non è necessariamente visto come un difetto di Access, per quanto la destinazione potenziale del prodotto, ad utenti non esperti, possa rendere questi casi più frequenti;

Le query sono gli strumenti idonei all'interrogazione ed alla manipolazione dei dati. Access dispone sin dall'origine di un ambiente grafico per la definizione delle query (detto Query By Example o QBE) che permette anche ad utenti poco esperti la loro costruzione, con un minimo di controllo della correttezza sintattica; questa facilità, per contro, può comportare situazioni di blocco del sistema come conseguenza di errori concettuali che comportino ricorsioni. Il linguaggio utilizzato nella definizione delle query è una versione leggermente semplificata di T-SQL; in alternativa all'ambiente QBE è possibile utilizzare direttamente questo, anche per ottenere query non altrimenti costruibili con QBE;

Le maschere (o form) consistono negli elementi grafici utili alla interazione da parte degli utenti con i dati delle tabelle o delle query. Le maschere possono contenere gli elementi standard di Access ed elementi aggiuntivi (ad esempio, controlli OCX sviluppati a parte). Le maschere possono includere codice VBA destinato all'automazione degli elementi contenuti; l'area di visibilità delle routine è locale;

I report consentono la visualizzazione, destinata alla stampa, dei risultati basati sui dati, tabelle e query. L'ambiente grafico destinato alla costruzione della struttura dei report ricalca quello delle maschere, pur conservando le differenze dovute alla diversa destinazione; sono disponibili funzioni di base, quali aggregazione dei dati e totali parziali. Anche in questo caso è possibile l'inserimento di codice VBA (area di visibilità locale) per un livello maggiore di automazione;



le macro possono contenere semplici sequenze di istruzioni, tipicamente tutto ciò che è possibile ottenere attraverso i menu di Access. Si tratta di elementi che permettono scarsa interazione con l'utente, per contro la loro costruzione è semplice;

le pagine (ovvero pagine di accesso ai dati) permettono la pubblicazione dei dati attraverso un server web. Sono state introdotte a partire dalla versione 2000 di Access;

i moduli possono contenere codice VBA (moduli di codice e classi) che si intende rendere globali (salvo specifica dichiarazione), ovvero richiamabili da uno qualsiasi degli altri elementi dell'applicazione.

Una funzionalità presente in tutte le versioni di Access consente di accedere a dati residenti in file di database esterni, sotto forma di tabelle collegate. Database strutturati in questo modo facilitano la distribuzione e la manutenzione della medesima applicazione a più utenti, fermo restando le limitazioni del motore Access/Jet circa il numero massimo di accessi simultanei. Occorre sottolineare che queste soluzioni non possono essere definite "client/server" in quanto il carico di lavoro per la elaborazione dati è sempre locale; una alternativa praticabile con le versioni dalla 2000 in poi è rappresentata dal progetto di database (estensione del file .adp) dove di fatto si realizza solo la parte di presentazione grafica, in appoggio a motori professionali già esistenti, ai quali è demandato il lavoro di elaborazione.

Le tabelle collegate sono utilizzabili allo stesso modo delle tabelle residenti, con l'unica limitazione data dalla non modificabilità della loro struttura se non nel database nel quale risiedono fisicamente. Le tabelle possono essere collegate attraverso il motore di database di Access se risiedono fisicamente in altri database Access, o in alcuni formati di file di database "standard", oppure via ODBC. In questo caso l'accesso a database eterogenei può richiedere la installazione di driver specifici.

Le versioni più recenti di Access dispongono di procedure guidate per la separazione in file distinti dei dati e dei restanti elementi a partire da applicazioni inizialmente costruite in un singolo file Access.

### **Sviluppo progetti**

Per lo sviluppo di applicazioni semplici, possono essere utilizzate funzioni di base, senza dover occuparsi di caratteristiche avanzate.

Per esigenze di sviluppo professionali è disponibile nel prodotto il linguaggio di programmazione Microsoft Visual Basic (per gli applicativi Office definito VBA - Visual Basic for Applications).

Sebbene il prodotto supporti tecniche di programmazione object-oriented (OO), tuttavia non costituisce un ambiente di sviluppo interamente orientato agli oggetti.

È possibile inoltre distribuire i propri lavori tramite un tool (Access Runtime) scaricabile dal sito Microsoft con il quale si può creare un programma di installazione per il proprio database che può contenere il runtime necessario a far funzionare il programma anche su PC dove non è presente una versione completa di Access 2007. Questa soluzione ha però alcune limitazioni dovute al funzionamento del runtime (per esempio, anche se detto risolto più volte, ancora ora non è possibile usando il programma in runtime esportare un report in formato .pdf).

### **Internet Information Services**

Microsoft Internet Information Services (erroneamente chiamato anche Microsoft Internet Information Server o Microsoft Internet Information Service), spesso abbreviato in IIS, è un complesso di servizi server Internet per sistemi operativi Microsoft Windows. Inizialmente venne distribuito come Option Pack per il sistema operativo Windows NT, venne poi integrato in Windows 2000 e Windows Server 2003. La versione corrente, integrata in Windows Server 2008, è la 7.0 ed include i servizi server per i protocolli FTP, SMTP, NNTP e HTTP/HTTPS. Le prime versioni includevano anche un servizio per il protocollo Gopher.

### **Caratteristiche**

L'applicazione server non è in grado, di per sé, di eseguire elaborazioni Server-side ma ne delega l'esecuzione ad applicazioni ISAPI. Microsoft stessa fornisce una serie di applicazioni tra le quali il modulo per Active Server Pages ed ASP.NET. Altri sviluppatori hanno reso disponibili i moduli per il supporto ai linguaggi PHP e Perl.

### **Compatibilità**

IIS è stato sviluppato per funzionare sulla famiglia di sistemi operativi di Microsoft. Una versione limitata in grado di supportare un unico dominio ed un numero limitato di connessioni viene fornito nelle versioni personali di Windows dalla versione Windows 98 sotto il nome di Personal Web Server.

## **Sicurezza**

Per IIS negli anni passati sono stati segnalati numerosi security exploit, la gran parte dei quali pericolosi se non vengono applicati filtri adeguati alle applicazioni ISAPI. Microsoft, dalla versione distribuita con Windows Server 2003 ha disabilitato per default il supporto ad estensioni non utilizzate, rendendolo, di fatto, più sicuro nella configurazione standard.

Microsoft, inoltre, ha modificato gli account su cui viene eseguito il server. Nelle versioni precedenti la 6.0 tutte le operazioni venivano eseguite con le credenziali di amministrazione, permettendo agli exploit di ottenere il pieno controllo del sistema. Dalla versione 6.0 l'account è diventato un account di rete, con privilegi più limitati e quindi meno pericoloso.

Dopo circa 3 anni sul mercato, IIS 6 può vantare, rispetto ai Web Server concorrenti, solo 3 bug di sicurezza noti.

IIS 7.0 - incluso in Windows Vista - è ancora più sicuro anche grazie al fatto che è un server web modulare, composto da un server di base leggero a cui è possibile aggiungere più di 40 moduli funzionali che possono essere connessi al server di base. Tale aggiunta avviene in base a delle precise necessità del sistemista e pertanto espone il server a rischi minori.

## **Versioni**

- IIS 1.0, Windows NT 3.51 Service Pack 3
- IIS 2.0, Windows NT 4.0
- IIS 3.0, Windows NT 4.0 Service Pack 3
- IIS 4.0, Windows NT 4.0 Option Pack
- IIS 5.0, Windows 2000
- IIS 5.1, Windows XP Professional
- IIS 6.0, Windows Server 2003
- IIS 7.0, Windows Vista e Windows Server 2008

## MSSQL Server

Microsoft SQL Server è un DBMS relazionale, meglio noto come Relational Database Management System (RDBMS), prodotto da Microsoft. Nelle prime versioni era utilizzato per basi dati medio-piccole, ma a partire dalla versione 2000 è stato utilizzato anche per la gestione di basi dati di grandi dimensioni.

### Storia

Publicità mobile gigante di MS SQL Server a ShanghaiL'ingresso di Microsoft nel mondo dei database di fascia "enterprise" risale intorno al 1989 quando cominciò la competizione con Oracle, IBM e Sybase che erano i dominatori del mercato. La prima versione fu SQL Server per OS/2 ed era quasi identica a Sybase SQL Server 4.0 su Unix.

Fino al 1994 Microsoft SQL Server riportava tre copyright della Sybase come indicazione della sua origine; in seguito Sybase cambiò il nome del suo prodotto in "Adaptive Server Enterprise" per evitare confusione con "Microsoft SQL Server".

SQL Server 7.0 è stato il primo database server basato su un'interfaccia grafica fabbricata dalla stessa ditta del Database. L'attuale versione, Microsoft SQL Server 2008 (10.0), è stata rilasciata (RTM) nell'Agosto 2008.

### Versioni per Windows

- 1993 - SQL Server 4.2
- 1995 - SQL Server 6.0, nome in codice SQL95
- 1996 - SQL Server 6.5, nome in codice Hydra
- 1998 - SQL Server 7.0, nome in codice Sphinx
- 1999 - SQL Server 7.0 OLAP, nome in codice Plato
- 2000 - SQL Server 2000 32-bit, nome in codice Shiloh
- 2003 - SQL Server 2000 64-bit, nome in codice Liberty
- 2005 - SQL Server 2005 (sia 32-bit che 64-bit), nome in codice Yukon (di cui è disponibile una versione gratuita, vedi sotto)

- 2008 - SQL Server 2008 (sia 32-bit che 64-bit), nome in codice Katmai

## **Descrizione**

Microsoft SQL Server usa una variante del linguaggio SQL standard (lo standard ISO certificato nel 1992) chiamata T-SQL Transact-SQL. Sia Microsoft SQL Server che Sybase Adaptive Server Enterprise comunicano sulla rete utilizzando un protocollo a livello di applicazione chiamato "Tabular Data Stream" (TDS). SQL Server supporta anche "Open Database Connectivity" (ODBC). Il servizio di SQL Server risponde per default sulla porta 1433.

## **Varianti**

Una versione ridotta di Microsoft SQL Server 2000 chiamata MSDE (Microsoft SQL Server Desktop Engine) viene distribuita con prodotti come Visual Studio, Microsoft Access ed altri. MSDE presenta alcune restrizioni: supporta solo database con dimensioni massime di 2GB, non ha strumenti per essere amministrato ed è programmato per ridurre le prestazioni quando si superano gli 8 accessi concorrenti.

Microsoft ha recentemente rilasciato il successore di MSDE: SQL Server 2005 Express (di cui è disponibile già SP1) Simile ad MSDE, SQL Server 2005 Express include tutte le principali funzionalità di SQL Server 2005 ma ha delle restrizioni per quanto riguarda la scalabilità del database; può utilizzare una sola CPU, 1GB di RAM e supporta database con dimensioni massime fino a 4GB. SQL Server 2005 Express non include inoltre prodotti di fascia enterprise come "Analysis Services", "Reporting Services", "Data Transformation Services" e "Notification Services". Diversamente da MSDE, SQL Server Express include una console di amministrazione chiamata "SQL Server Management Studio Express". Esiste anche una versione ridotta chiamata SQL Server Mobile (ora chiamata SQL Server Compact e rilasciata a fine 2006) dedicata alle applicazioni su dispositivi mobili.

La versione utilizzata per il progetto è SQL Server 2005.

## **Tecniche utilizzate nella realizzazione del progetto**

## Tecnica RAD

La Rapid application development (o RAD), è una metodologia di sviluppo del software introdotta inizialmente da James Martin negli anni ottanta. Questa metodologia coinvolge modelli di sviluppo iterativi, la costruzione di prototipi e l'utilizzo di strumenti CASE. Solitamente questo approccio allo sviluppo comporta compromessi tra usabilità, funzionalità e velocità d'esecuzione.

Lo sviluppo del software fa riferimento allo sviluppo di applicazioni per la programmazione e differisce dalla programmazione in sé per sé dato che prevede maggiori responsabilità, includendo la comprensione dei requisiti e la fase di testing.

Nacque in risposta alle metodologie di programmazione sviluppate negli anni settanta, come ad esempio il modello a cascata, che soffrivano principalmente del problema della lentezza di sviluppo. Spesso accadeva che i requisiti dell'applicazione cambiassero ancor prima che questa fosse stata completata, rendendola di fatto inusabile. Sulla base delle idee di Brian Gallagher, Barry Boehm and Scott Shultz, James Martin sviluppò l'approccio RAD durante gli anni ottanta presso IBM ed infine lo formalizzò pubblicando un libro sull'argomento nel 1991.

Una compagnia incentrata sullo sviluppo della programmazione RAD, Magic Software, sviluppò un paradigma unico che abilitò sia i programmatori che i non-programmatori a scrivere rapidamente programmi sofisticati, tramite la definizione di "business rules" in tabelle, piuttosto che scrivere del nuovo codice o riusarne dell'altro. A metà degli anni '90 si tenne un evento dedicato alla programmazione, il Droege Competition, in cui programmatori di tutto il mondo si sfidarono nel completare una applicazione utilizzando linguaggio e piattaforma di loro scelta. Il paradigma della Magic Software non solo vinse la competizione tutti e cinque gli anni in cui questa ebbe luogo, ma dominò tutte le prime posizioni con uno schiacciante distacco dai secondi. Il paradigma della Magic Software stava per diventare uno stabile IDE con la capacità di ridurre significativamente non solo i tempi di programmazione, ma anche quelli della manutenzione su progetti di livello aziendale.

### **Pro e Contro del RAD:**

#### **Pro**

Maggiore velocità di sviluppo attraverso metodi includenti la rapid prototyping, la virtualizzazione delle procedure correlate al sistema, l'utilizzo di CASE tool, e altre tecniche.

Ridotte funzionalità per l'utente finale (derivante da una più mirata progettazione), da cui una ridotta complessità

Maggiore enfasi sulla semplicità e l'usabilità del design delle GUI (Graphic User Interface)

### **Contro**

Ridotta Scalability, e ridotte funzionalità quando una applicazione sviluppata tramite RAD inizia come prototipe ed evolve in una applicazione completa.

Ridotte funzionalità si presentano a causa del time boxing quando queste sono accelerate verso la nuova versione allo scopo di ultimare in tempi brevi la release del software.

### **Conversione di dati**

I dati da inserire nel database del progetto sono stati forniti dall'ISTAT sottoforma di fogli elettronici EXCEL.

Si è resa necessaria un ottimizzazione dei dati forniti per poterli utilizzare all'interno della base di dati, eliminando voci ripetute e caratteri inopportuni all'interno dei record.

Il database risultante è stato ottimizzato per grandezza e struttura, onde poterne effettuare una rapida consultazione.

Le aziende contenute all'interno della base di dati sfiorano di poco le 300.000 voci. Tuttavia in seguito all'ottimizzazione effettuata è possibile (in seguito ad una query SELECT) ottenere una risposta su una voce cercata in circa 0,5 secondi dalla richiesta.

### **Struttura base dell'interfaccia grafica (GUI)**

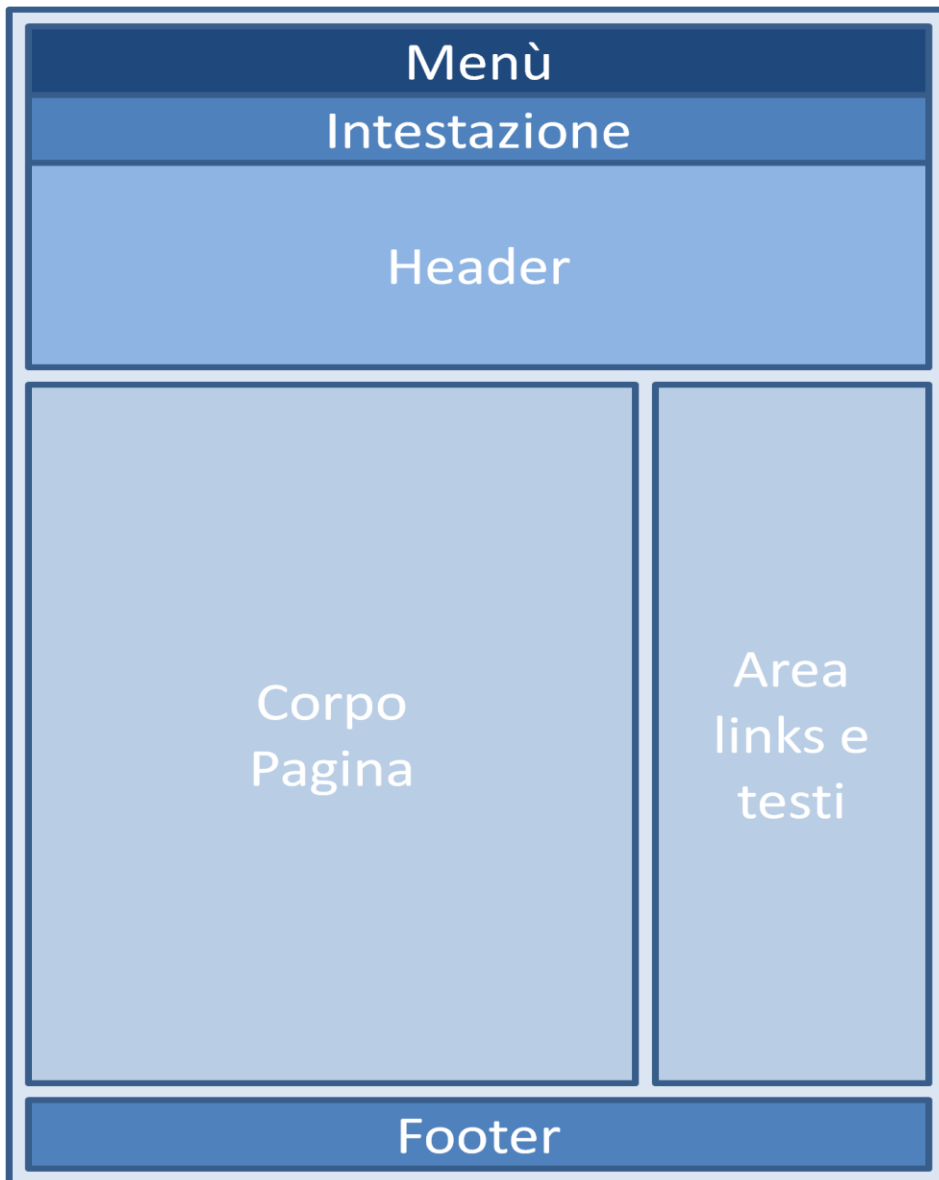
La struttura dell'interfaccia è stata realizzata seguendo i canoni dell' HMI (Human-Machine Interaction) allo scopo di rendere più semplice e fruibile la navigazione da parte degli utenti.

Il portale è realizzato tramite l'utilizzo di fogli di stile, ed è visualizzabile con i più comuni browser in circolazione:

- Internet Explorer
- Opera

- Firefox
- Chrome

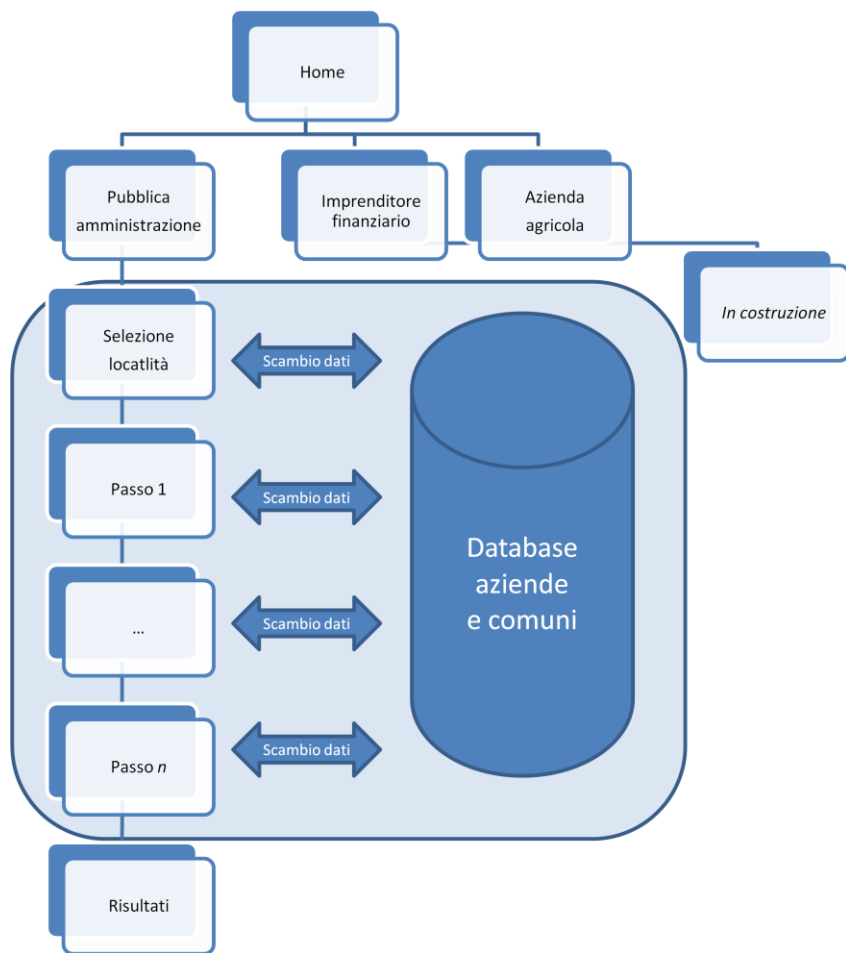
Struttura a blocchi delle pagine web del portale:



### Struttura del portale web

Grafico del portale web





## Prospettive future

Il portale presenta numerosi punti di sviluppo futuri, come ad esempio l'arricchimento del database delle aziende con dati nuovi e/o aggiornati, la possibilità di gestione delle matrici (modifica di dati e parametri).

E' inoltre auspicabile e prevedibile, l'utilizzo di un interfaccia software in grado di effettuare una consultazione dei dati senza avvalersi di un browser web, ma comunicando direttamente con il database MSSQL sul server tramite un interfaccia realizzata in tecnologia .NET.

## **Bibliografia e ringraziamenti**

Le descrizioni generiche delle tecnologie impiegate sono state tratte da Wikipedia ([www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com))

Desidero porre i miei più sentiti ringraziamenti agli ingg. Simona Scarfogliero e Mariarosaria Sarnataro per la loro collaborazione nella realizzazione di questo progetto, nonché ai componenti dello staff della Lelig Company (nelle persone di Aversa Ciro, dott.ssa Rosa Altura e dott.ssa Stefania Sorrentino) che mi hanno aiutato ad affrontare, come sempre, questo lavoro con professionalità e competenza.

Torre del Greco, 30 settembre 2010

Il tecnico responsabile  
Dott. Raffaele Liguoro