

Energia da bio-combustibili

Valutazione economica degli impianti

di Francesco Groppi, Francesco Parrini

La diffusione di metodologie innovative, basate sull'utilizzo di programmi di simulazione, trova promettenti riscontri negli studi di fattibilità per gli impianti a bio-combustibili finalizzati alla produzione energetica. Tale approccio scaturisce in larga misura dalla particolare importanza che le scelte organizzative e gestionali ricoprono a livello di impresa, soprattutto per ciò che riguarda sia l'approvvigionamento e lo stoccaggio del bio-combustibile sia la pianificazione della produzione.

I metodi classici per la valutazione economica dei progetti industriali, di cui gli impianti per la produzione di energia da bio-combustibili costituiscono un caso particolare, fanno normalmente riferimento alle procedure di attualizzazione per costi e ricavi, al fine di confrontare i diversi flussi di cassa che si manifestano nel corso della vita utile degli impianti. Tuttavia, la produzione di energia da bio-combustibili presenta delle specificità proprie tali da rendere spesso inadeguate le tecniche comunemente adottate, le quali sono tradizionalmente basate sui diagrammi crono-finanziari e sui flussi di cassa futuri calcolati su base annua.

A tale proposito in Tabella 1 sono riportate le principali differenze esistenti tra una centrale elettrica di piccola potenza di tipo tradizionale e una alimentata a bio-combustibili.

Come si può vedere, nel caso dell'impianto a combustibili fossili, sia il minore impegno di capitale che la maggiore stabilità delle condizioni al contorno, concorrono ad agevolare i calcoli di convenienza economica. Nel secondo caso (im-

pianto a bio-combustibili), i costi del combustibile sono invece ben lontani dall'essere tra loro uniformi e, risentendo dei costi di trasporto, sono fortemente dipendenti dalla distanza del luogo di produzione rispetto all'impianto.

I costi di stoccaggio risentono principalmente dei costi capitale (gestione di grossi volumi, conseguenti al basso peso specifico e al basso potere calorifico tipici delle biomasse), al depauperamento nel tempo del combustibile (per fenomeni di fermentazione interni) e al costo opportunità¹ (a causa delle notevoli quantità che spesso bisogna stoccare per compensare gli sfasamenti tra produzione di biomassa e generazione di energia).

Il maggiore prezzo che (non solo in Italia) viene pagato per l'energia elettrica prodotta da questa fonte rinnovabile² è in

¹ Per *costo opportunità* si intende la mancata remunerazione del capitale nel tempo, conseguente al fatto che esso risulta impiegato in modo improduttivo (come nel caso delle scorte) invece di poter essere immediatamente utilizzato per generare reddito o altro capitale.

² Legge n. 10/1990, Provvedimento Cip n. 6/1992 e successivi adeguamenti della *Cassa Conguaglio*.

ing. Francesco Groppi, ing. Francesco Parrini, Enel, Centro Ricerca Ambiente e Materiali, Milano.

Tabella 1 - Confronto tra un impianto di tipo tradizionale e uno a bio-combustibili di pari potenza

	<i>Impianto a combustibili fossili</i>	<i>Impianto a bio-combustibili</i>
Costo del combustibile	Medio-basso e legato ai prezzi di mercato	Variabile, è a volte difficile stabilire dei criteri attendibili di formazione del prezzo di mercato
Disponibilità del combustibile	Costante tutto l'anno	Concentrata nei periodi di raccolta
Costi di trasporto del combustibile	Bassi, se rapportati al potere calorifico	Alti, se rapportati al potere calorifico
Omogeneità delle caratteristiche del combustibile	Alta	Bassa
Tempi di consegna del combustibile	Bassi (o nulli se per esempio si utilizza gas metano)	Variabili
Reperibilità del combustibile	Ampia diffusione	Deve essere oggetto di studi preliminari
Principali problemi relativi allo stoccaggio del combustibile	Incendio ed esplosione (se però l'impianto funziona a gas metano può non esservi stoccaggio)	Incendio, grandi volumi, degradazione nel tempo
Valore riconosciuto all'energia elettrica prodotta	Di mercato	Alto, se l'energia viene ceduta alla rete elettrica nazionale
Costo capitale dei progetti	Medi	Medio-alti
Impatto sull'ambiente	Aumento di CO ₂ nell'atmosfera, possibili fenomeni di inquinamento su scala locale	Bilancio in pareggio per la CO ₂ , vantaggi conseguenti al razionale smaltimento dei residui, al recupero dei terreni ecc.

larga parte giustificato da considerazioni di tipo ambientale legate alla riduzione di CO₂ in atmosfera, allo smaltimento razionale dei residui e al recupero dei terreni agricoli in via di abbandono. Inoltre, gli impianti a bio-combustibile, proprio perché traggono i propri input energetici dal territorio su cui si trovano ad operare, richiedono un preliminare lavoro di studio volto a determinare le effettive disponibilità dei fattori produttivi di cui necessitano. L'impiego di capitali è maggiore rispetto a quanto avviene per gli impianti tradizionali e così pure, spesso, il costo del combustibile, il prodotto finale è però più pregiato: oltre all'energia elettrica e all'eventuale calore che vengono prodotti in modo completamente pulito, l'impianto, mentre opera, svolge una costante azione di recupero e miglioramento ambientale.

Le considerazioni fatte pocanzi suggeriscono, per questa particolare classe di progetti, l'adozione di opportune procedure di calcolo economico che siano in grado di dare una risposta ai seguenti quesiti:

- In quale misura i vari combustibili con cui si prevede di far funzionare l'impianto concorreranno ad alimentare la produzione, tenendo conto che, in ogni caso, si dovrà tendere verso soluzioni che minimizzino i costi?
- Quali saranno i livelli di riordino, le quantità ordinate e le giacenze medie, tenuto conto dei costi elevati, cercando però di scongiurare i rischi di stockout?
- È possibile calcolare con precisione l'attualizzazione dei ricavi, tenendo conto delle fluttuazioni nel corso dell'anno dei livelli di produzione?

La soluzione a questi problemi, in particolare ai primi due, non è possibile per via puramente teorica in quanto gli andamenti, spesso discontinui, delle disponibilità dei bio-combustibili, così come dei livelli di produzione, mal si prestano

ad essere inseriti in formulazioni matematiche, per quanto complesse queste ultime possano essere. Tali andamenti possono però essere simulati su calcolatore per mezzo di opportuni programmi così da poter prevedere, istante per istante, quali valori assumeranno i vari parametri di interesse a fronte di particolari condizioni interne ed esterne.

Bisogna considerare inoltre che i valori unitari relativi alle diverse voci di costo e ricavo sono spesso frutto di stime condotte su un numero di casi campionati assai modesto ed inoltre, a causa del vasto panorama di soluzioni tecnico-gestionali possibili, tali valori sono spesso conseguenza di operazioni di interpolazione ed estrapolazione, che contribuiscono ad aumentarne l'incertezza.

Il grado di incertezza che accompagna i dati di partenza fa sì che, per intraprendere in modo adeguato uno studio di fattibilità su impianti a bio-combustibili, spesso non sia sufficiente un'unica analisi economica, seppure effettuata in modo adeguato. Spesso infatti le analisi economiche devono essere ripetute, variando opportunamente di volta in volta i

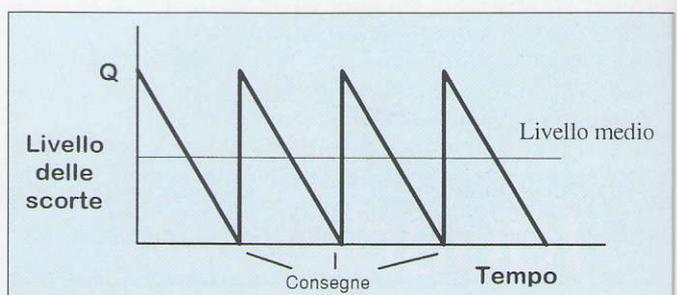


Figura 1 - Andamento nel tempo del livello delle scorte nel caso di domanda costante

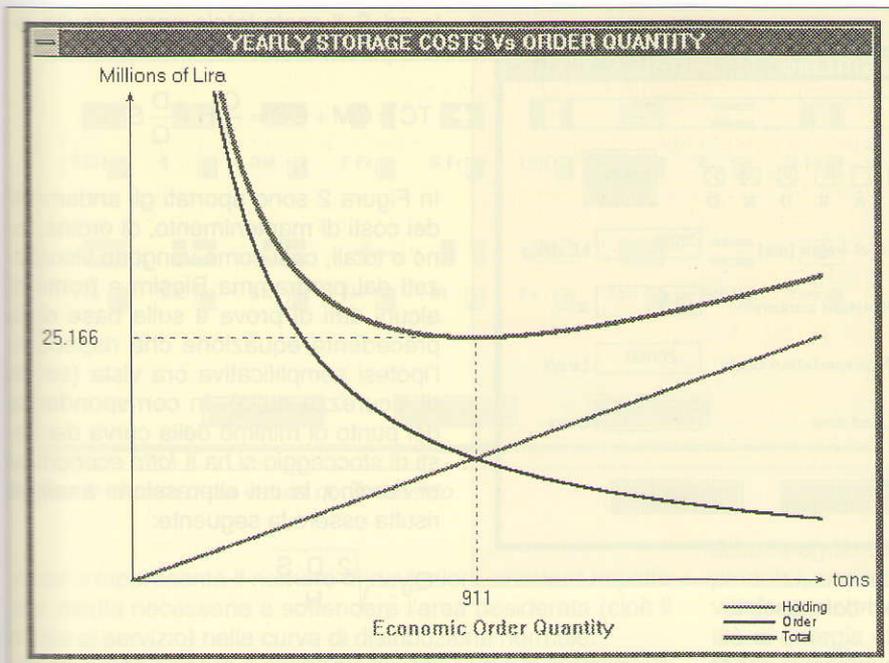


Figura 2 - Andamento dei costi di stoccaggio nelle ipotesi di domanda costante e scorta di sicurezza nulla

valori di alcuni dati di partenza (analisi di sensibilità), soprattutto quelli ritenuti più facilmente affetti da errori, così da poter studiare l'effetto di tali modifiche sui risultati e valutare se si è in presenza di situazioni critiche per cui siano richieste conoscenze più approfondite su alcuni particolari dati. Per i motivi ora visti, l'Enel/Cram ha sviluppato un codice di calcolo funzionante in ambiente Windows, a cui è stato dato il nome di Biosim, in grado di simulare il funzionamento di un impianto per la produzione di energia da bio-combustibili sotto il profilo economico-finanziario.

Produzione e trasporto dei bio-combustibili

I bio-combustibili presentano caratteristiche diverse tra loro, oltre che in termini di qualità del prodotto, anche per ciò che riguarda la loro diffusione sul territorio e i periodi di disponibilità, in generale contraddistinti da una forte caratterizzazione stagionale. Questi aspetti, in realtà, riflettono gli andamenti delle produzioni agricole o selvicole delle quali i bio-combustibili costituiscono il prodotto ultimo, come nel caso delle coltivazioni energetiche oppure, in altri casi, sono conseguenti ai periodi di raccolta e trasformazione di prodotti a più alto valore aggiunto, nel qual caso siamo in presenza di sottoprodotti o scarti di lavorazione.

In generale, sia i sottoprodotti di lavorazione dell'agro-industria che gli scarti di lavorazione del legno sono favoriti dal punto di vista logistico, in quanto si presentano spesso concentrati negli stabilimenti in cui avvengono le lavorazioni da cui essi scaturiscono. Gli scarti di lavorazione dell'industria del legno presentano inoltre il vantaggio di essere disponibili abbastanza uniformemente nel corso dell'anno poiché, in generale, non sono legati a lavorazioni stagionali.

Le colture energetiche, per contro, occupano in genere le quote di terreno messe a riposo a causa delle politiche comunitarie di set-aside, oppure talune aree in via di margina-

lizzazione. Esse risultano quindi piuttosto sparpagliate sul territorio e, di conseguenza, la biomassa ricavata deve sempre essere raccolta e trasportata per distanze più o meno lunghe. Le operazioni di taglio e raccolta risultano essere inoltre concentrate in particolari periodi dell'anno. Gli scarti di lavorazioni agricole in alcuni casi, quali ad esempio le paglie e i residui di potatura, si collocano all'incirca nella stessa posizione delle colture energetiche in quanto la loro appartenenza a cicli intensivi di coltivazione è compensata da una resa per ettaro minore di quella ottenibile attraverso l'impianto di colture specializzate. In altri casi la raccolta e la concentrazione dei sottoprodotti avviene contestualmente al trattamento del prodotto principale (tipico esempio sono i gusci, i raspi e i noccioli) e pertanto l'area di raccolta può essere considerata sicuramente meno estesa rispetto al

caso precedente. Circa lo sfruttamento delle aree boschive, si può notare come queste, generalmente, abbraccino territori

piuttosto estesi anche se, spesso, l'accesso a tali aree per le operazioni di taglio o diradamento si presenta meno agevole che nel caso delle colture energetiche. Le modalità, i tempi e i costi di trasporto dei bio-combustibili dipendono, oltre che dalla distanza tra luogo di produzione e impianto per la produzione di energia, anche dai trattamenti subiti.

I bio-combustibili, infatti, a seconda delle proprie caratteristiche e delle modalità adottate per la produzione e la raccolta, possono presentarsi sotto forma di materiali imballati (balle e rotoballe di paglia sono un tipico esempio), di materiale sminuzzato o in polvere come nel caso dei residui legnosi, oppure sotto forma di piante intere, tronchetti o ramaglie.

Approvvigionamento e stoccaggio dei bio-combustibili

In generale, è possibile individuare diverse politiche di approvvigionamento e stoccaggio per i bio-combustibili, poiché

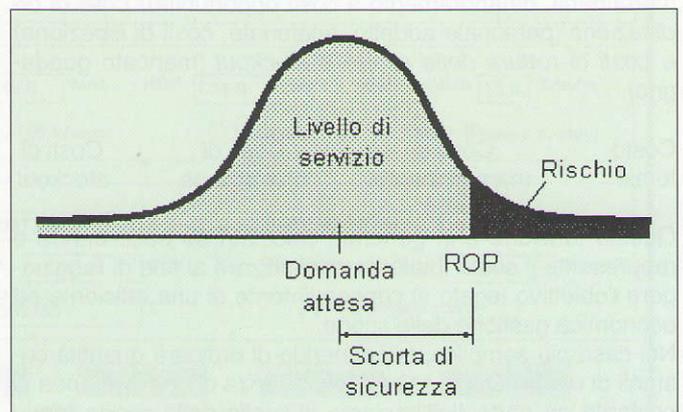


Figura 3 - Determinazione della scorta di sicurezza in funzione del livello di servizio richiesto e nell'ipotesi di distribuzione normale della domanda

Figura 4 - Modalità di introduzione dati per i bio-combustibili

le scelte operate in questo settore si ripercuotono in modo pesante sia sui costi di gestione che sulla qualità dei risultati in termini di continuità, efficienza e sicurezza delle operazioni. La necessità di realizzare lo stoccaggio dei bio-combustibili a monte dell'impianto di conversione deriva principalmente dalle seguenti esigenze:

- soddisfare la domanda in ogni periodo dell'anno pur avendo a che fare con delle disponibilità che per loro natura sono discontinue e tipicamente legate a lavorazioni e produzioni di tipo stagionale;
- essere in grado di ordinare il bio-combustibile in quantitativi apprezzabili al fine di evitare di incorrere nei prezzi più alti che, generalmente, vengono praticati per quantitativi modesti;
- prevenire l'insorgere di fenomeni di rottura delle scorte o *stockout* che solitamente si verificano quando l'impianto funziona a pieno regime e nel contempo vi è penuria di bio-combustibile. I costi connessi ai periodi di mancata produzione che si verificano a seguito di tali fenomeni sono generalmente molto alti.

I costi di stoccaggio del bio-combustibile possono essere suddivisi in tre grandi categorie: *costi di mantenimento* (ammortamenti, deterioramento e costi opportunità), *costi di ordinazione* (personale addetto, telefonate, costi di ispezione) e *costi di rottura delle scorte o stockout* (mancato guadagno).

$$\text{Costo totale} = \text{Costi di mantenimento} + \text{Costi di ordinazione} + \text{Costi di stockout}$$

Questa funzione è in generale calcolata su base annua e rappresenta il costo totale da minimizzare al fine di raggiungere l'obiettivo legato al conseguimento di una efficiente ed economica gestione delle scorte.

Nel caso più semplice, supponendo di ordinare quantità costanti di merce Q e di essere in presenza di una domanda D costante da parte dell'impianto, il livello delle scorte tende ad assumere l'andamento riportato nella Figura 1.

Supponendo inoltre che il costo unitario di mantenimento delle scorte sia pari ad H e il costo di una ordinazione ugua-

le ad S , il costo totale annuo risulta allora pari a:

$$TC = CM + CO = \frac{Q}{2}H + \frac{D}{Q}S$$

In Figura 2 sono riportati gli andamenti dei costi di mantenimento, di ordinazione e totali, così come vengono visualizzati dal programma Biosim a fronte di alcuni dati di prova e sulla base della precedente equazione che rispecchia l'ipotesi semplificativa ora vista (scorta di sicurezza nulla). In corrispondenza del punto di minimo della curva dei costi di stoccaggio si ha il *lotto economico di riordino*, la cui espressione analitica risulta essere la seguente:

$$Q_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot S}{H}}$$

Esso però, pur dicendo, in modo più o meno approssimato, quale sia la quantità ottima da ordinare, non fornisce alcuna indicazione sugli istanti in cui è necessario ordinare.

Per rispondere a questa domanda bisogna ricorrere al *modello del punto di riordino*, la cui espressione generale risulta essere la seguente:

$$\text{ROP} = \frac{\text{Domanda prevista durante il tempo di approvvigionamento}}{\text{Domanda prevista durante il tempo di approvvigionamento}} + \text{Scorta di sicurezza}$$

Un indicatore largamente utilizzato per quantificare il rischio di *stockout* è il cosiddetto *livello di servizio*, il quale esprime la probabilità che durante il periodo di approvvigionamento si incorra in fenomeni di *stockout*.

Facendo l'ipotesi di una distribuzione normale della domanda, il livello di servizio è equivalente all'area sottesa dalla curva posta alla sinistra del punto di riordino (ROP) come si può vedere nella Figura 3. Supponendo allora di conoscere il livello di servizio desiderato, la domanda attesa D e la sua deviazione standard s_{dL} è possibile conoscere il punto di riordino applicando la seguente espressione:

$$\text{ROP} = \bar{D} + z \cdot \sigma_{dL}$$

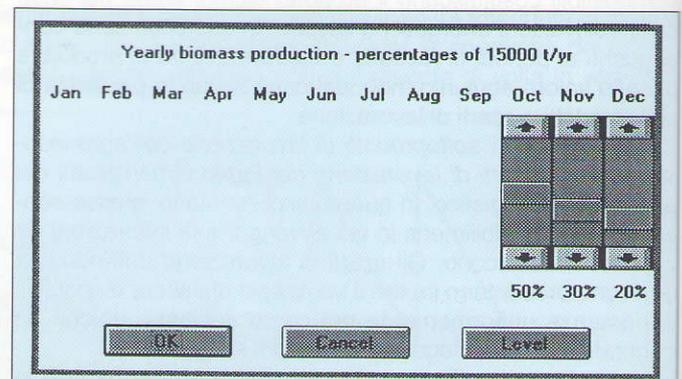


Figura 5 - Ripartizione delle disponibilità dei bio-combustibili nel corso dell'anno

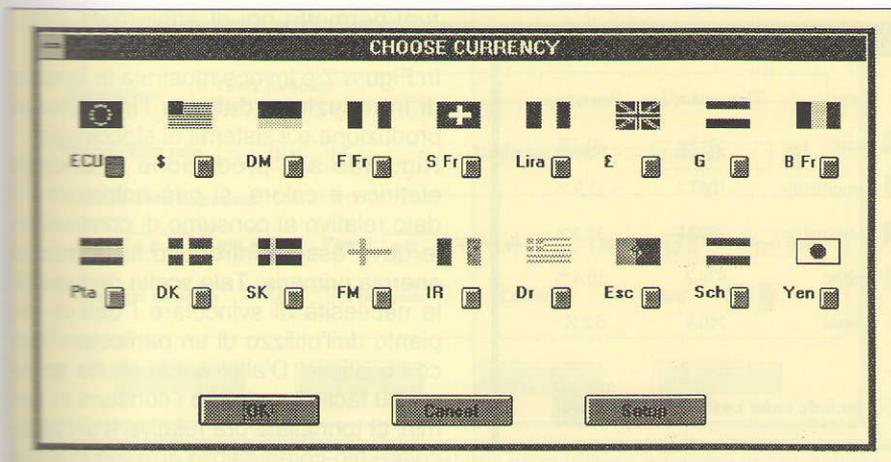


Figura 6- Scelta della valuta di riferimento

in cui z rappresenta il numero di deviazioni standard rispetto alla media necessarie a sottendere l'area desiderata (cioè il livello di servizio) nella curva di distribuzione normale.

La formula vista per il punto di riordino, oltre a supporre la distribuzione normale della domanda attesa, considera il tempo di approvvigionamento costante. Essa può essere espressa in forma differente conoscendo la domanda media giornaliera d , il tempo di approvvigionamento espresso in giorni L e la deviazione standard della domanda giornaliera

$$\sigma_z = \frac{\sigma_{dL}}{\sqrt{L}}$$

$$ROP = \bar{d} \cdot L + z \cdot \sigma_d \cdot \sqrt{L}$$

Se, viceversa, è possibile considerare la domanda d costante e il tempo di approvvigionamento normalmente distribuito, indicando con \bar{L} il valor medio di tale tempo e con σ_L la sua deviazione standard, si ottiene la seguente espressione:

$$ROP = d \cdot \bar{L} + z \cdot d \cdot \sigma_L$$

Se infine sia la domanda che il tempo di approvvigionamento sono entrambi normalmente distribuiti e mutuamente indipendenti, l'espressione del punto di riordino assume la seguente forma:

$$ROP = \bar{d} \cdot \bar{L} + z \cdot \sqrt{\sigma_d^2 \cdot L + \bar{d}^2 \cdot \sigma_L^2}$$

Si è osservato infine che in sede di progetto è normalmente più facile formulare delle ipotesi sulle variazioni della domanda giornaliera, in quanto esse derivano direttamente dalle soluzioni tecniche adottate (impianto, utenza).

Per contro, i tempi di approvvigionamento e ancor più le loro distribuzioni probabilistiche, devono essere desunti da serie storiche di dati, ove queste

siano disponibili, in quanto possono essere influenzati significativamente dal particolare contesto territoriale su cui l'impianto si troverà ad operare.

Produzione di energia

La conversione termochimica dei bio-combustibili si presta ad essere immediatamente utilizzata per la produzione di energia sotto la duplice forma di elettricità e calore. Essa può avere luogo mediante processo di combustione diretta del bio-combustibile per mezzo di caldaie a griglia, a letto fluido o loro derivazioni, oppure facendo ricorso a una gassificazione intermedia, cosa che, se

accompagnata ad un efficiente impianto di utilizzo del gas prodotto, consente in genere di ottenere rendimenti di conversione elettrica più elevati. Al fine di determinare la quantità di energia ottenibile da una data quantità di bio-combustibile, bisogna considerare che quest'ultimo contiene normalmente un certo tenore di umidità U , espresso come percentuale in peso, il quale, oltre a costituire una frazione inerte della massa, sottrae calore in fase di trasformazione termochimica a causa del processo di evaporazione.

Conoscendo il potere calorifico della sostanza secca C_{dm} (in kcal/kg) è allora possibile passare al potere calorifico del bio-combustibile in condizioni reali C_{tq} utilizzando la relazione:

$$C_{tq} = C_{dm} (1 - U/100) - 600 U/100$$

A differenza dei grossi impianti termoelettrici alimentati a combustibili fossili, gli impianti a bio-combustibile, essendo

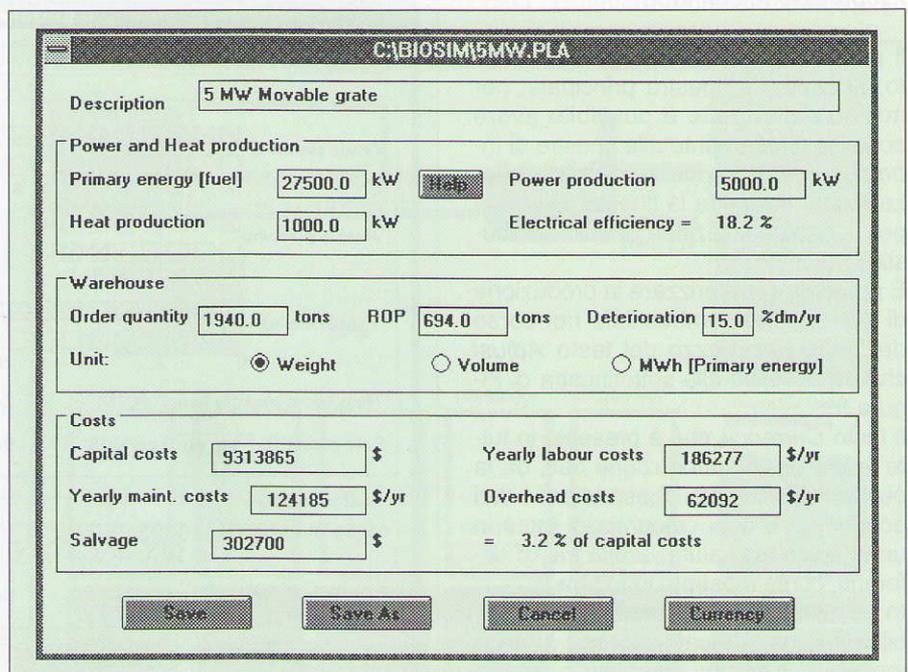


Figura 7 - Modalità di introduzione dati per l'impianto ed il proprio sistema di stoccaggio

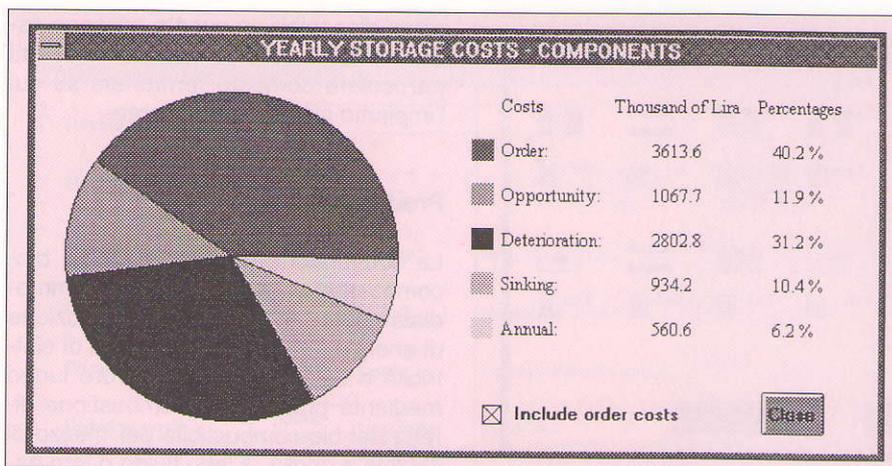


Figura 8 - Esempio di analisi della composizione dei costi di stoccaggio in condizioni di lotto economico

di taglia decisamente inferiore ai primi, quando erogano energia alla rete elettrica non sono in generale tenuti a modulare la propria produzione per adattarsi alle esigenze del servizio elettrico e, di regola, se si escludono i periodi di fermata, vengono sempre fatti funzionare a piena potenza. Gli impianti dedicati esclusivamente alla produzione di calore sono in pratica costituiti da una caldaia che, nella maggior parte dei casi è utilizzata per la produzione di vapore a temperatura e pressione prefissati, anche se in particolari applicazioni vengono impiegati altri fluidi termovettori quali ad esempio olio diatermico o aria. Negli impianti di cogenerazione invece, il calore viene generalmente prelevato nei punti del ciclo termico che presentano dei livelli di entalpia del fluido scarsamente utilizzabili per la produzione elettrica.

Preparazione dell'Input

Il programma Biosim, una volta avviato, presenta la finestra principale, per mezzo della quale è possibile avere accesso direttamente alle finestre di introduzione dati suddivise per categorie. La Figura 4 mostra la finestra utilizzata per la caratterizzazione dei bio-combustibili. È possibile caratterizzare la produzione di ciascun bio-combustibile nel corso dell'anno per mezzo del tasto *Adjust* che dà accesso alla sottofinestra di Figura 5. Il tasto *Currency*, che è presente in tutte le finestre di introduzione dati, dà la possibilità all'utente di esprimere i dati economici di ogni categoria di input in una particolare valuta, scelta fra 18 differenti, come mostrato in Figura 6. In tal modo risulta possibile la compatibilità tra costi e ricavi espressi in unità monetarie differenti (caso tipico è quello dell'impianto acquistato all'estero). Una particolare sottofinestra (tasto *Se-*

tup) permette poi di aggiornare i rapporti di cambio tra le diverse valute. In Figura 7 è invece mostrata la finestra di introduzione dati per l'impianto di produzione e il sistema di stoccaggio. Riguardo alla produzione di energia elettrica e calore, si può notare che il dato relativo al consumo di combustibile deve essere introdotto in termini di energia primaria. Tale scelta deriva dalla necessità di svincolare i dati di impianto dall'utilizzo di un particolare bio-combustibile. D'altro canto risulta spesso più facile esprimere i consumi in termini di tonnellate/ora relative a un particolare bio-combustibile anziché in kW e pertanto, al fine di rendere più agevole e intuitiva la fase di introduzione dati è stata prevista una apposita sottofinestra che calcola automaticamente il consumo di energia primaria a partire da dati quali potere calorifico, umidità e consumo orario.

La seconda sezione della finestra si riferisce alle caratteristiche dello stoccaggio, le quali possono essere espresse in tonnellate, m³ o kWh. Se si prevede che l'impianto sia alimentato da un solo bio-combustibile tale scelta riveste poca importanza, ma nel caso si abbia a che fare con più bio-combustibili, tra cui di volta in volta dover scegliere, il risultato può variare significativamente a seconda dell'unità di misura utilizzata per la valutazione del più profittevole. In linea di massima si può affermare che se si ragiona in termini di peso si pone maggiormente l'attenzione sui costi di acquisto (la biomassa viene comunemente venduta a tonnellate); se, viceversa, si fa riferimento al volume sono i co-

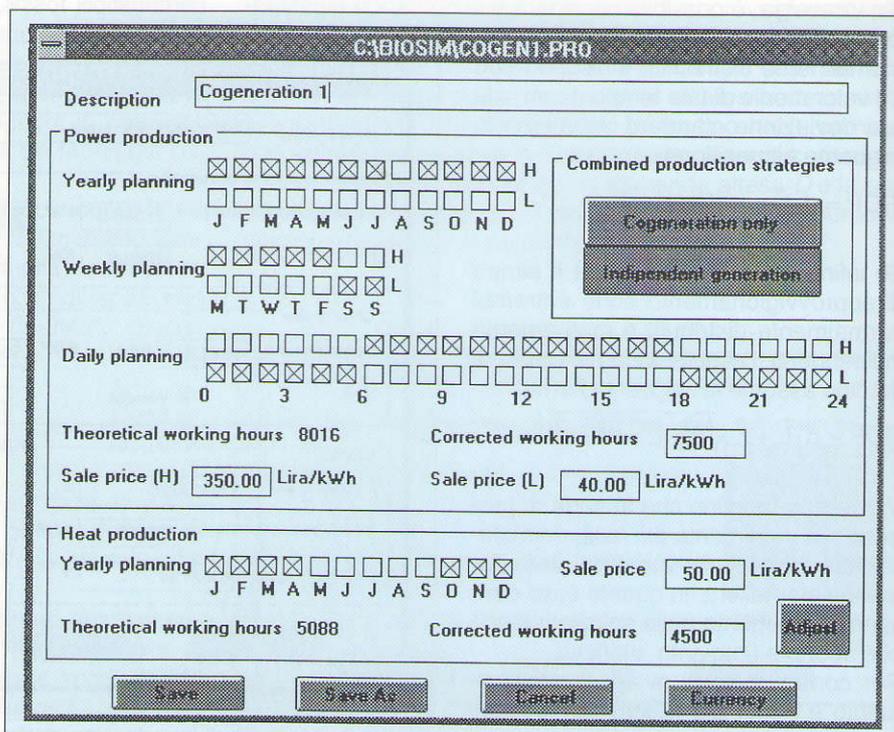


Figura 9 - Modalità di introduzione dati relativi ai programmi di produzione

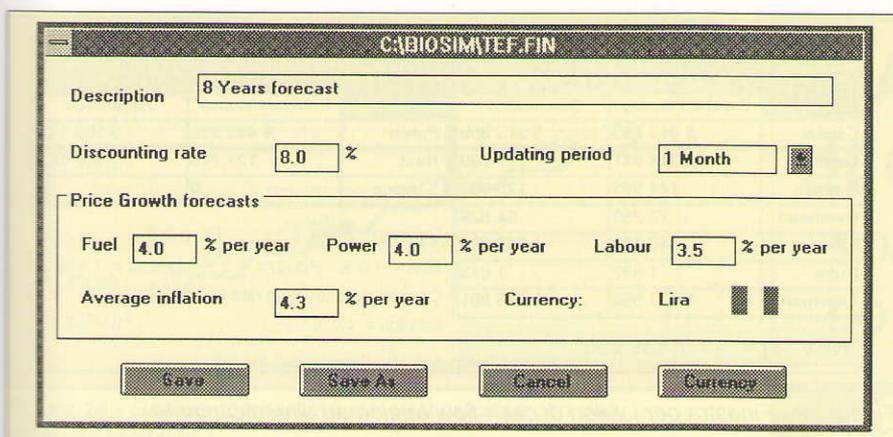


Figura 10 - Modalità di introduzione dati relativi all'ambiente economico-finanziario di riferimento

sti di trasporto ad essere enfatizzati (in quanto si tratta di materiale leggero); qualora infine si ragioni in termini di energia primaria l'accento viene posto sull'ottimizzazione della gestione delle scorte, in quanto ciò che realmente interessa ai fini della produzione è il loro contenuto energetico. Il programma permette del resto un dimensionamento accurato dell'impianto di stoccaggio per mezzo di una opportuna finestra di utility che fa uso dei modelli visti nel paragrafo precedente relativo all'approvvigionamento e stoccaggio dei bio-combustibili.

Oltre ai dati numerici, attraverso questa procedura è possibile evidenziare l'andamento dei costi, la loro composizione e le loro variazioni al mutare delle condizioni di esercizio.

A titolo di esempio, in Figura 8 è riportata una scomposizione dei costi rappresentata con diagramma a torta.

In Figura 9 è mostrata la finestra dati relativa ai piani di produzione. In questa finestra vi sono 2 sezioni principali: elettricità e calore.

La pianificazione della produzione elettrica viene effettuata su base annua, settimanale e giornaliera, prevedendo due possibili tariffe di cessione dell'energia.

Il numero di ore reali di produzione elettrica può essere differente da quello teoricamente calcolato dal codice e tale differenza viene opportunamente gestita e colmata da un algoritmo di tipo Monte Carlo.

La pianificazione della produzione termica, che può essere vista come cogenerazione o come generazione indipendente dalla produzione elettrica, viene effettuata solamente su base annua anche se, attraverso una opportuna sottofinestra, è possibile pesare il contributo dei vari mesi similmente a quanto mostrato in Figura 5 per i bio-combustibili.

Anche nel caso della generazione termica, il numero effettivo di ore di distribuzione del calore può essere differente dal valore teorico calcolato.

La Figura 10 mostra la finestra utilizzata per l'introduzione dei dati economi-

co-finanziari.

I dati di input vengono alla fine assemblati tra di loro per mezzo di una apposita finestra tramite la quale è possibile scegliere l'impianto, il piano di produzione, l'ambiente economico-finanziario e da 1 a 5 differenti tipi di bio-combustibili.

In questa finestra è anche possibile scegliere la durata della simulazione, il suo inizio e le modalità di calcolo dei flussi di cassa attualizzati (moneta corrente o moneta costante).

Simulazione

Una volta avviata la simulazione, il programma presenta una pagina a tutto schermo come quella di Figura 11.

La schermata principale permette di seguire visivamente l'evoluzione di ogni simulazione attraverso opportune animazioni e disporre in ogni istante dei risultati dei calcoli attraverso l'attivazione di opportune finestre di supervisione.

In basso a sinistra e al centro sono rappresentati i fornitori (da 1 a 5) tra i quali, ogni volta che l'impianto si trova nella necessità di approvvigionarsi di bio-combustibile, viene operata una scelta. Tale scelta viene condotta per mezzo di un particolare algoritmo di decisione che, pur puntando alla minimizzazione dei costi di approvvigionamento, cerca di scongiurare l'insorgenza di fenomeni di stockout.

In basso a destra vi sono 6 pulsanti per mezzo dei quali è possibile visualizzare in tempo reale l'evoluzione di specifiche categorie di variabili, e cioè:

- energie (primaria, elettrica e termica) prodotte dall'inizio della simulazione e dall'inizio dell'anno in corso;
- flussi di cassa a moneta costante o moneta corrente e la

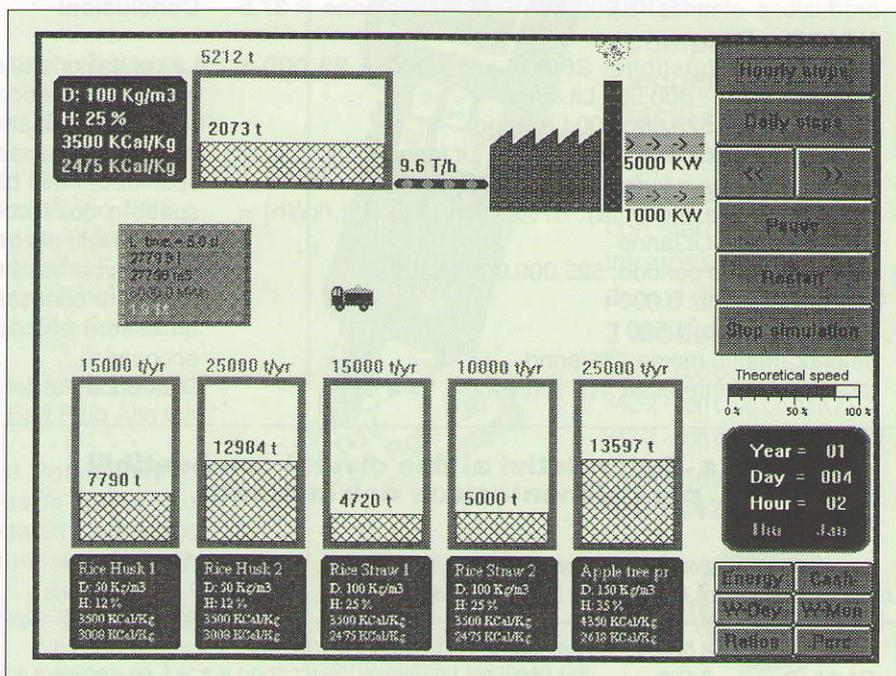


Figura 11 - Esempio di simulazione in corso di svolgimento

loro attualizzazione operata alla fine di prefissati periodi che possono variare da 1 giorno a 1 anno (Figura 12);

- flussi medi giornalieri di energia (primaria, elettrica e termica). Questa finestra è composta in tutto da 365 istogrammi;
- flussi medi mensili di energia (primaria, elettrica e termica). Questa finestra è composta in tutto da 12 istogrammi;
- cifre di merito del progetto: Valore attuale netto (VAN), indice di profittabilità, periodo di ripagamento e tasso interno di ritorno, quest'ultimo calcolato con un algoritmo iterativo basato sul metodo delle secanti. La finestra (Figura 13) mostra inoltre l'andamento nel tempo del VAN sotto forma grafica;
- ripartizione percentuale dei costi e dei ricavi attualizzati e non mediante diagrammi a torta.

DISCOUNTED CASH-FLOW REPORT				
Cost	COSTS		REVENUES	
	Constant money	Discounted	Constant money	Discounted
Capital	9 313 865	9 313 865	Power	4 453 996
Labour	214 641	191 739	Heat	127 749
Mainten.	144 599	129 052	Salvage	0
Overhead	72 299	64 526		
Biomass	640 769	549 062		
Order	1 987	1 813		
Transport	1 413 950	1 246 801		
NPV [\$] =		-7 439 580		

Currency: \$ Price drift:
 Fuel = -1.0 % Power = 1.0 % Labour = -1.9 %
 Corrected discounting rate = 7.69 %
 Inflation = 4.0 %

Figura 12 - Finestra per i valori di cash-flow aggiornati dinamicamente

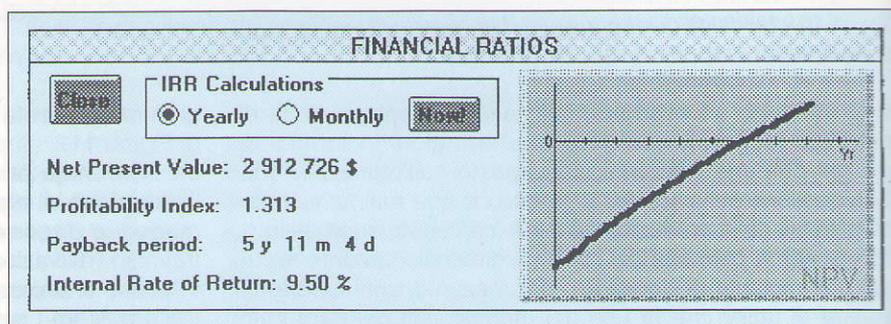


Figura 13 - Finestra per gli indici economici aggiornati dinamicamente

Esempio di applicazione

Al fine di confrontare i risultati ottenibili da un programma di simulazione rispetto all'uso dei classici metodi di valutazione economica dei progetti, si fa riferimento a un prototipo di impianto da 5 MW elettrici.

L'impianto è stato studiato per essere alimentato da due differenti bio-combustibili disponibili in periodi diversi dell'anno (Tabella 2).

I principali parametri tecnico-economici caratterizzanti il progetto in esame risultano essere i seguenti:

- produzione elettrica: 5.000 kW x 7.500 ore/anno = 37,5 10⁶ kWh
- costo del combustibile: 26.800 x 52.500 + 23.000 x 140.000 = 4.627.000.000 Lit./anno
- mano d'opera: 525.000.000 Lit./anno
- costi di manutenzione: 175.000.000 Lit./anno
- amministrazione e vari: 87.500.000 Lit./anno
- ricavi (energia elettrica): 37,5 10⁶ x 245 [Lit./kWh] = 9.187.500.000 Lit./anno
- recupero di fine periodo: 525.000.000 MLit.
- quantità ordinata: 6.000 t
- livello di riordino: 1.500 t
- deterioramento medio: 2%/anno
- tasso reale di interesse: 7,7 % (i = 12%, f = 4%)

Tabella 2 - Dati relativi ai due diversi combustibili per l'alimentazione dell'impianto

	Potere calor. kcal/kg	Consumo t/a	Periodo di disponibilità	Costo di acquisto	Costo di trasporto
Comb. 1	3 000	26 800	Lug-Dic	35 000 Lit./t	17 500 Lit./t
Comb. 2	3 500	23 000	Gen-Giu	87 500 Lit./t	52 500 Lit./t

Per quanto riguarda la simulazione, il periodo di attualizzazione è stato posto uguale a 1 mese mentre per i calcoli eseguiti col metodo classico è stato scelto un più "ragionevole" periodo di 1 anno.

Il grafico che segue mostra il differente andamento dei due metodi utilizzati considerando un orizzonte di pianificazione di 8 anni.

Conclusioni

La valutazione tecnico-economica dei progetti per lo sfruttamento energetico dei bio-combustibili, a causa sia della complessità di alcune fasi dei cicli di produzione che per le conoscenze, spesso solo approssimative, sui costi e le disponibilità delle biomasse, richiede studi più approfonditi rispetto a quelli che normalmente vengono condotti per impianti di tipo più tradizionale.

L'approccio basato sulla simulazione consente di sfruttare al meglio le conoscenze disponibili e nel contempo si presta ad essere efficacemente utilizzato in analisi di sensitività economica.

D'altronde, la necessità di eseguire più simulazioni, conseguente alla presa in esame di altrettante ipotesi finalizzate all'analisi di sensitività dei progetti, richiede degli strumenti di calcolo che siano in grado di rispondere alle seguenti caratteristiche:

- buona velocità di esecuzione: per evitare che gli studi di fattibilità diventino troppo onerosi;
- facilità di inserimento e modifica dei dati: per ridurre i tempi complessivi ed evitare errori di battitura e trascrizione.

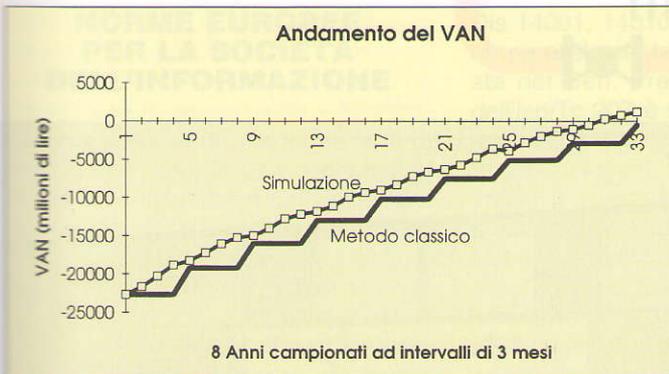


Figura 14 - Grafico comparativo dei VAN calcolati con due differenti modalità

zione;

- interattività: per avere una rapida conferma riguardo alla bontà dei dati introdotti e alla convergenza verso gli obiettivi desiderati;
- flessibilità: per poter considerare il più vasto numero di ipotesi e di casi possibili;
- completezza: per poter tener conto di tutti i fattori che concorrono al calcolo dei risultati;
- precisione dei calcoli: al fine di ridurre i margini di incertezza dei risultati.

Il programma Biosim, nato per soddisfare le esigenze di calcolo che emergono dalle numerose proposte relative alla realizzazione di impianti a bio-combustibili di taglia media e piccola, è stato sviluppato cercando di soddisfare tutti i requisiti prima visti.

Esso può quindi essere considerato un valido strumento di lavoro orientato allo studio e alla pianificazione tecnico-economica di questa particolare classe di progetti. ●

Bibliografia

- [1] Filippo Insinga, *Guida pratica alle decisioni aziendali*, Il Sole 24 Ore 1993.
- [2] William J. Stevenson, *Management Science*, Irwin 1990.
- [3] E. Mansfield, *Microeconomia*, Il Mulino 1982.
- [4] Laura Gotusso, *Calcolo Numerico*, Clup Milano 1978.
- [5] National Resource Institute, Enel Centro Ricerca Ambiente e Materiali, Green Land Reclamation, East Midland Electricity, Ivo 1994, *Decentralized Production of Electricity from Biomass (final reports)*, Eec Contract n. JOU2-CT92-0208.
- [6] Electric Power Research Institute, *A "How-to" Primer for Biomass Resource Development*, Epri Palo Alto California 1993.
- [7] F. Groppi, F. Parrini, *Evaluation of Potentiality for Energy Crops in Marginal and Set-aside Areas*, Proceeding from 8th European Conference on Biomass for Energy and Environment, Agriculture and Industry (1995).
- [8] Charles Petzold, *Programming Windows 3.1*, Microsoft Press 1992.
- [9] Corrado Giustozzi, *C++*, Serie di articoli sulla rivista MC Computer 1991.

Analizzatori di Combustione

NO · °C · λ · O₂ · CO₂ · CO
CO non diluito · qA · hPa

FACILE DA USARE
ECONOMICO



Gli strumenti portatili della nuova generazione:

- compatti
- leggeri
- facili da usare
- economici

Stampano i dati con stampante a raggi infrarossi, senza l'uso di cavi di collegamento

3 Modelli

- 342-1 - con celle O₂ e CO
- 342-2 - con celle O₂ e NO
- 342-3 - con celle O₂, CO e NO

Richiedete il catalogo testo 342

testo s.r.l.

Via F.lli Rosselli, 3/2
20019 Settimo Milanese (MI)
Tel. 02-33.50.33.05 (r.a.) - Fax 02-33.50.33.06

