

ELETTRICITA' DA BIOMASSE LEGNOSE: EFFETTI ECONOMICI E AMBIENTALI

Domenico Coiante – 01/09/2010

Pubblicato su www.aspoitalia.it – Settembre 2010

Introduzione

Da qualche tempo, le vie consolari Aurelia, Claudia, Cassia, Salaria e Flaminia, tutte confluenti da Nord verso il Grande Raccordo Anulare di Roma, sono percorse da grandi autocarri con rimorchio carichi di legna da ardere, diretti verso Sud. I camion sono quasi tutti targati Reggio Calabria, Cosenza e Catania e il trasporto di legna (per la maggior parte in grossi tronchi di quercia) continua anche nei mesi estivi, quando il commercio di questo combustibile, finora dedicato esclusivamente ai caminetti e alle stufe, dovrebbe essere praticamente fermo (fanno eccezione le forniture alle pizzerie e ai ristoranti). Questi autocarri s'incontrano anche a distanza di un centinaio di chilometri a Nord di Roma, oltre che nel Lazio, in Toscana ed Umbria. Si può pertanto concludere che è in atto un vero e proprio flusso di legna da ardere, in partenza dai boschi dell'Italia Centrale e diretto verso il Sud.

Poiché il trasporto non si arresta nemmeno nei mesi estivi quando, soprattutto nel Meridione, l'uso della legna per usi civili dovrebbe essere superfluo, si è cercato di dare una spiegazione del fenomeno, facendo una piccola indagine. E' risultato che la legna, in gran parte, è destinata agli impianti di produzione elettrica da biomasse situati in Calabria, dove sono entrate in funzione da qualche anno ben tre centrali, rispettivamente a Cutro (www.etacutro.com) (16,5 MW), Strongoli (40 MW) e Crotona (20 MW) (www.biomasseitalia.it), per un totale di potenza di 76,5 MW.

Dopo i primi anni di funzionamento, la produzione d'elettricità di quest'impianti è entrata in crisi: si è constatato che la capacità d'approvvigionamento di biomasse, sotto forma di colture dedicate e di residui boschivi e agro-alimentari, dai bacini locali era stata sovrastimata. La disponibilità di legna dei boschi di zona è andata progressivamente diminuendo e, per garantire il funzionamento degli impianti a pieno regime, non sono bastati i prodotti locali, ma si è dovuto far ricorso al reperimento di biomasse da zone sempre più distanti con il conseguente aumento dei costi di gestione. La crisi è divenuta tale che recentemente è stata avanzata la richiesta di utilizzare perfino i rifiuti solidi urbani e d'altro genere. Sembra che il permesso sia stato accordato da poco, trasformando di fatto le centrali in impianti "assimilati" alle fonti rinnovabili, veri e propri "termovalorizzatori", con buona pace della rinnovabilità dell'energia prodotta (Bavusi et al., 2010, www.olambientalista.it).

Lasciando ad altra occasione l'approfondimento di questi aspetti poco simpatici, possiamo dire che la necessità di fronteggiare la carenza di combustibili legnosi locali spiega il flusso di autocarri carichi di legna dall'Italia centrale verso la Calabria. Rimane, tuttavia, da soddisfare un'altra curiosità, quella che riguarda il bilancio economico e ambientale dell'impresa.

E' noto che l'alto costo del trasporto, in relazione al mercato della legna, ha finora contenuto lo spostamento di questo combustibile su percorsi molto limitati; per giunta, i recenti continui aumenti del prezzo del gasolio per auto-trazione lasciano presumere la convenienza di una filiera sempre più corta. Invece sta accadendo il contrario: la legna viene spostata dalla Toscana alla Calabria per diverse centinaia di chilometri. Sorgono allora alcune domande:

- Come mai il trasporto su lunghe distanze è divenuto ora economicamente conveniente?
- Qual è la resa energetica a bocca di centrale al netto dell'energia fossile spesa per il trasporto?
- Qual è il bilancio ambientale?

Costo dell'energia termoelettrica da biomasse

Per rispondere alla prima domanda, proviamo a stimare il costo del kWh (C_{kWh}) prodotto in una centrale termoelettrica a biomasse.

Rinviando il lettore al riferimento bibliografico (Coiante, 2004) per i dettagli del procedimento matematico, possiamo ottenere subito tale costo utilizzando direttamente la relazione finale, opportunamente semplificata:

$$C_{\text{kWh}} \cong \frac{[(\text{FCR}) + K_{\text{E\&M}}] \cdot K_I}{H} + K_C \quad (1)$$

Dove:

- FCR (*Fixed Charge Rate*) è il fattore finanziario che permette di calcolare la rata annuale dell'ammortamento dell'investimento a valore costante attraverso il fattore di annualità Q_N e il rateo delle tasse dirette T ; [$\text{FCR} \cong Q_N/(1-T)$];
- $Q_N = r/[1-(1+r)^{-N}]$, dove r è il tasso annuale d'interesse reale e N è la vita operativa dell'impianto espressa in anni.
- K_I è il costo specifico totale d'impianto "chiavi in mano" espresso in euro per kW.
- $K_{\text{E\&M}}$ è il costo annuale di esercizio e manutenzione, comprensivo delle spese assicurative, espresso come frazione dell'investimento totale.
- H è la produttività effettiva dell'impianto, ossia la quantità di kWh che si producono annualmente in media per ogni kW di potenza nominale dell'impianto. H , pertanto, rappresenta il numero di ore equivalenti di funzionamento a piena potenza nell'arco dell'anno.
- K_C è il contributo al costo del kWh dovuto alle biomasse usate come combustibile, espresso in euro/kWh.

Quest'ultimo parametro è dato a sua volta in funzione del costo specifico del combustibile, f_c , in euro/t, del potere calorifico, E_s , in kWh/t e dell'efficienza dell'impianto di trasformazione dal calore in elettricità, η , come:

$$K_C = f_c/(\eta \cdot E_s) \quad (2)$$

Il costo del combustibile, f_c , è inteso come fornito in centrale. Pertanto, se il prezzo d'acquisto presso il produttore di biomassa è f_0 (in €/t) ed f (in euro/t/km) è il costo specifico chilometrico del trasporto, la spesa sostenuta per una distanza S (in km) fino alla centrale è $(f \cdot S)$. Si ha allora che il combustibile in centrale costa:

$$f_c = f_0 + (f \cdot S) \quad (3)$$

Pertanto, sostituendo la (3) nella (2), possiamo riscrivere la (1) come:

$$C_{\text{kWh}} \cong \frac{[(\text{FCR}) + K_{\text{E\&M}}] \cdot K_I}{H} + \frac{f_0 + (f \cdot S)}{\eta \cdot E_s} \quad (4)$$

L'espressione (4) ci dice che il costo di produzione del kWh dipende da due termini: il primo tiene conto delle spese per il capitale e per la gestione ordinaria dell'impianto, mentre il secondo è dovuto alle spese annuali sostenute per il combustibile impiegato per la generazione d'elettricità, compreso il trasporto.

Quest'ultimo aspetto riveste una particolare importanza perché è legato alle condizioni logistiche di approvvigionamento della biomassa che è usata come combustibile nella centrale. Tali condizioni, determinanti per il bilancio economico d'impresa, sono anche molto importanti sul piano dell'impatto ambientale a causa del grande impegno di territorio da occupare con le colture legnose necessarie.

Al fine di rendere quantitativo il discorso, fissiamo la nostra attenzione su una centrale termoelettrica alimentata a biomassa legnosa proveniente da colture dedicate. Questa linea oggi rappresenta la modalità più conveniente per la produzione elettrica e, nella fattispecie, consideriamo come combustibile il legno di pioppo in forma di "cippato", cioè ridotto in piccoli pezzi di dimensioni uniformi. Il materiale proviene da

piantagioni a rapida rotazione, dette SRF (SRF = *Short Rotation Forestry*), caratterizzate da elevata produttività. Alcuni dati sulla produzione di questo tipo di biomassa, da usare per il calcolo successivo, sono riassunti nella seguente Tab.1.

Tab.1 – Coltivazione pioppo SRF

<i>Parametro</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Valore</i>
Resa specifica sostanza secca (ss)	R_{ss}	17,7 t ha ⁻¹ anno ⁻¹
Costo coltivazione	C	858 € ha ⁻¹ anno ⁻¹
Costo produzione biomassa	f_0	48,5 €/t (ss)
Potere calorifico inferiore (ss)	pci	17,8 GJ/t
Output energetico	E_{out}	315 GJ ha ⁻¹ anno ⁻¹
Input energetico	E_{in}	16,3 GJ ha ⁻¹ anno ⁻¹
Rendimento energetico (EROEI)	(E_{out}/E_{in})	19,3

Fonte: Elaborazione dell'autore dei dati da (Venturi G., Bonari E., 2004)

Allo stato attuale delle tecniche colturali in Italia, il costo di produzione di una tonnellata di cippato anidro è $f_0 = 48,5$ €. In relazione alla determinazione del costo del combustibile a bocca di centrale, f_c , espresso dalla (3), occorre stabilire il costo specifico chilometrico del trasporto, f , da cui dipende il valore del secondo termine della (4). I prezzi praticati nel settore del trasporto merci sono soggetti a una grande variabilità, per cui è obiettivamente difficile fissare un valore certo. Possiamo tuttavia trovare un termine di riferimento nella tabella ufficiale, pubblicata dal Ministero dei Trasporti il 15/07/2010 (www.mit.gov.it/mit/mop), in cui sono fissati i dati riconosciuti dallo Stato ai fini della fatturazione da parte degli autotrasportatori:

- Per veicoli di massa complessiva superiore alle 26 t, il consumo di gasolio riconosciuto in media è di 2,8 km/l.
- Al netto di IVA e sconto delle accise, il prezzo medio del gasolio è di 1,015 €/l.
- Il costo medio per il carburante per ciascun km di percorrenza è di 0,363 €.
- L'incidenza media della spesa del gasolio sulle spese totali d'esercizio va dal 20,2% al 32,4% in corrispondenza di percorrenze da 50 fino a oltre 500 km.

Per semplificare, assumiamo una percorrenza di 300 km, a cui corrisponde in tabella un valore intermedio per l'incidenza sul costo d'esercizio del 24,2%. In tal caso, il costo totale medio riconosciuto per il trasporto è pari a 1,5 €/km.

Gli autocarri adibiti al trasporto della legna sotto forma di cippato hanno una portata utile di 32 t ed una capienza massima di 85 m³. Considerato che 1 m³ di cippato di pioppo con residuo di umidità pari al 20% (come è il caso del cippato stagionato all'origine) pesa circa 141 kg (Hellrigl, 2004), il carico utile dell'autocarro a pieno volume sarà di 12 t, corrispondenti a circa 9,6 t di sostanza secca.

In definitiva, il costo specifico chilometrico riferito al legno di pioppo anidro è $f = 0,156$ €/(t·km). Possiamo ora inserire questo parametro nella seguente Tab.2, assieme a tutti gli altri dati tecnici, economici e finanziari, che caratterizzano la produzione elettrica da biomasse.

Tab.2 – Valore attuale indicativo dei parametri per il calcolo

Parametri	Simbolo	Valore
Potenza nominale dell'impianto¹	P	40 MW
Costo specifico dell'investimento¹	K_I	1875 €/kW
Esercizio&manutenzione&assicurazione	$K_{E\&M}$	4% anno
Tasso annuo interesse reale	r	5%
Vita operativa impianto	N	25 anni
Tasse dirette	T	0,3
Fixed Charge Rate	FCR	0,1014
Costo specifico biomassa all'origine²	f_0	48,5 €/t
Potere calorifico inferiore³	pci	17,8 GJ/t
Potere calorifico inferiore⁴	E_s	4000 kWh/t
Efficienza generazione elettrica	η	30%
Costo specifico trasporto biomassa⁵	f	0,156 €/t/km

¹ Si riferisce alla centrale di Strongoli (Crotone) da www.biomasseitalia.it

² Fonte: (Venturi G., Bonari E., 2004), sostanza secca in cippato di pioppo da coltura dedicata

³ Fonte: (Venturi G, Monti A., 2005), pioppo sostanza secca anidra

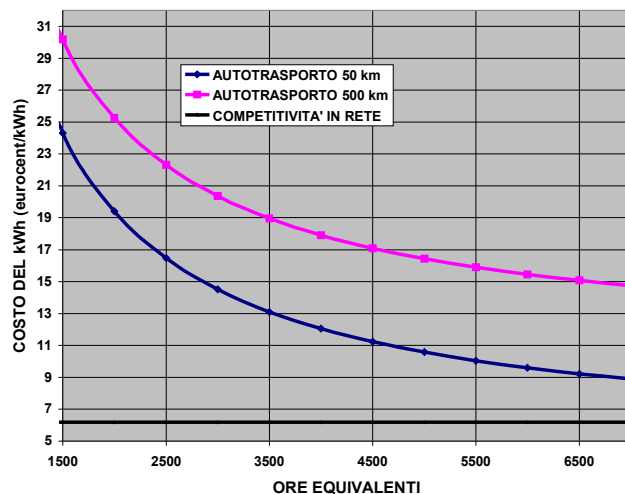
⁴Rielaborazione dell'autore per il pci del pioppo a contenuto d'umidità del 15% (www.fuocolegna.it/tipolegna.php)

⁵Consumo specifico medio gasolio (autocarri di massa complessiva > 26 t, carico utile = 20 t) = 2,8 km/l; prezzo medio gasolio al netto IVA e sconto accise = 1,015 €/l; costo medio carburante = 0,363 €/km; incidenza su costo totale = 24% (www.mit.gov.it/mit/mop) (tabella del 15/07/2010)

A questo punto abbiamo tutti gli elementi per calcolare il costo del kWh. Esso è ricavato in funzione della produttività della centrale, H , inserendo nell'espressione (4) i valori dei parametri della tabella e lasciando la distanza di approvvigionamento della biomassa, S , come parametro variabile. La Fig.1 rappresenta il grafico ottenuto in tali condizioni per due valori di S , rispettivamente 50 km e 500 km.

In esso è anche mostrato il prezzo unitario di acquisto in rete (PUN), fissato dal Gestore del Mercato Elettrico, da assumere come livello di confronto del costo del kWh per la competitività. Per i primi cinque mesi del 2010, il PUN medio è risultato pari a 6,19 c€/kWh (www.mercatoelettrico.org/It/Statistiche). Pertanto, solo i valori del costo di produzione del kWh che sono al di sotto di questo livello possono considerarsi competitivi.

Fig.1 – Costo del kWh per una centrale a biomasse in funzione delle ore annuali equivalenti al funzionamento a piena potenza per due distanze S d'approvvigionamento del combustibile. Il livello di competitività con il costo di generazione medio sulla rete italiana è posto a 6,19 c/kWh



I moderni impianti di generazione elettrica da biomasse, qualora siano in perfette condizioni di manutenzione, hanno una produttività annuale che può arrivare intorno a 7000 kWh/kW, cioè essi sono in grado di funzionare per 7000 ore equivalenti a piena potenza. A questo valore corrisponde sul nostro grafico un costo di produzione di 9 e 15 c€/kWh, rispettivamente per i due bacini di approvvigionamento di 50 e 500 km. Anche nel caso più favorevole dei 50 km, il costo del kWh è ancora distante dalla competitività di un fattore circa 1,4.

Si può, quindi, concludere che la competitività da parte delle centrali termoelettriche a biomasse è da considerare come un obiettivo ancora da raggiungere. Il costo attuale degli impianti e quello di produzione della biomassa sono ancora troppo alti, cosicché gli investimenti in questo settore non sono remunerativi. Allo stato dei fatti, questa tecnologia può portare alla produzione su larga scala d'elettricità in modo redditizio soltanto in presenza di adeguati sussidi pubblici, giustificati con i benefici ambientali indotti (conteggio delle esternalità).

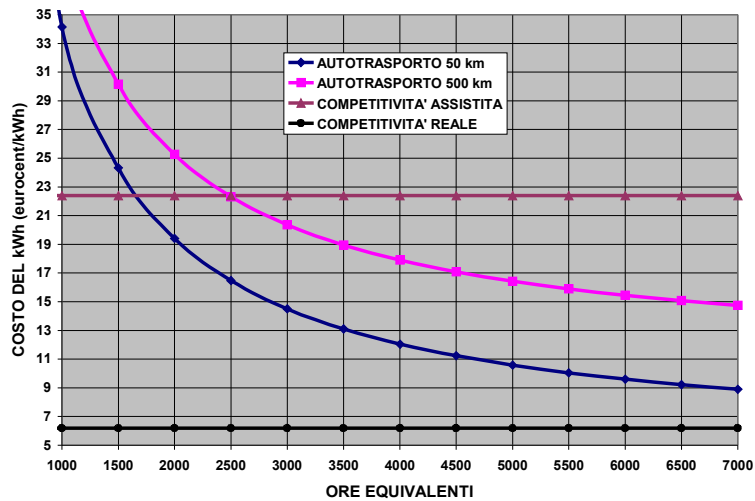
Incentivazioni economiche e redditività: i Certificati Verdi (CV)

In aggiunta al ricavo per la vendita dell'energia alla rete (al prezzo unitario stabilito dal GME di 6,19 c€/kWh nel 2010), i produttori di energia elettrica da biomasse possono ricavare un ulteriore reddito vendendo, per i 15 anni successivi all'entrata in esercizio degli impianti, i CV sul mercato obbligato dell'elettricità rinnovabile in blocchi da 1 MWh. Il prezzo d'offerta dei CV da parte del Gestore dei Servizi Elettrici è stato per il 2010 di 11,28 c€/kWh (www.gse.it/GSE%20Informa/). Per le biomasse da filiera (come è nel nostro caso più favorevole dei 50 km) è prevista la maggiorazione del prezzo del CV di un coefficiente pari a 1,80.

Pertanto il valore del CV è maggiorato a 20,3 c€/kWh per 15 anni. Questo valore, una volta che sia stato livellato in modo attuariale sull'intera vita operativa della centrale, (25 anni), diviene pari a 16,2 c€/kWh. Aggiungiamo ora il prezzo minimo garantito di 6,19 c€/kWh per la cessione dell'energia alla rete: otteniamo un valore totale del ricavo economico lordo pari a 22,4 c€/kWh. Pertanto, la situazione economica cambia notevolmente: ora, tutti i valori del costo di produzione che sono al di sotto di questo livello danno luogo ad

un bilancio economico positivo. Nella nostra rappresentazione grafica della situazione, l'introduzione delle incentivazioni pubbliche equivale pertanto a spostare il livello della competitività assistita sul valore di 22,4 c€/kWh, come è mostrato nella seguente Fig.2.

Fig.2 – Costo del kWh per biomasse da filiera a confronto con il livello di competitività assistita posto a 22,4 c€. Il costo diviene competitivo a partire da circa 1600 ore equivalenti per distanze entro 50 km e 2500 ore per distanze entro 500 km.

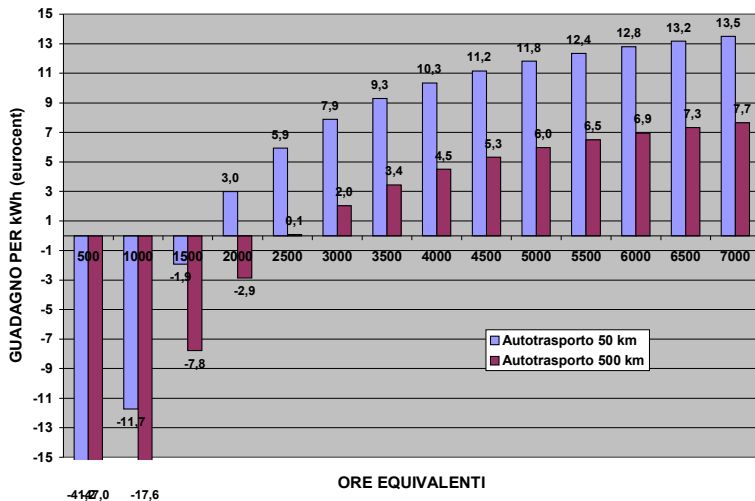


Il guadagno economico lordo per ciascun kWh, G_{kWh} , si ottiene sottraendo il costo di produzione del kWh dal ricavo totale per la vendita d'energia alla rete e dei CV sull'apposito mercato. Si avrà pertanto:

$$G_{kWh} = 22,4 - C_{kWh} \quad (\text{c€/kWh}) \quad (5)$$

Il risultato, espresso come funzione delle ore equivalenti di funzionamento della centrale, può essere visto in forma grafica nella Fig.3.

Fig.3 – Guadagno lordo per ogni kWh venduto alla rete nel caso presente d'incentivazioni pubbliche da CV con coefficiente di maggiorazione di 1,80.



Osservando la figura, si può notare che l'introduzione delle incentivazioni pubbliche produce due effetti principali:

1. Il primo è quello generale di rendere remunerativa l'energia termoelettrica prodotta da

biomasse legnose provenienti da colture dedicate. Infatti, per un funzionamento della centrale al di sopra delle 1600 ore equivalenti, il guadagno lordo diviene nettamente positivo per distanze d'approvvigionamento di 50 km, arrivando fino a 13,5 c€/kWh per 7000 ore di funzionamento.

2. Il secondo è reso evidente dal fatto che diventano comunque remunerativi, sia pure in misura minore, impianti a basso fattore di capacità, appena superiore alle 2500 ore di funzionamento, anche nel caso di approvvigionamento delle biomasse da lunghe distanze (oltre 500km).

Questa favorevole condizione economica rende possibile accettare costi maggiori per le biomasse, permettendo così un allargamento del bacino di approvvigionamento, o addirittura il cambiamento del tipo di combustibile, sostituendo la legna con prodotti esotici "verdi" importati dall'estero, come, ad esempio, l'olio di palma. Ciò risponde completamente alla prima domanda posta a conclusione del paragrafo d'introduzione.

Bilancio energetico

Per rispondere alla seconda domanda, quella inerente al rendimento netto d'energia, partiamo dal dato della Tab.1, che mostra come il fattore di rendimento energetico (EROEI) della biomassa all'origine sia pari a 19,3. Ciò significa che il contenuto energetico nel prodotto finale (sotto forma di cippato secco di pioppo) è 19 volte più alto della quantità di energia che è stata impiegata nell'intero ciclo colturale produttivo, dalla piantagione al raccolto. Indubbiamente si tratta di un fattore molto alto, che qualifica in modo positivo questo tipo di colture. Si tratta ora di proseguire lungo il ciclo industriale, valutando la spesa energetica associata al trasporto della biomassa fino alla destinazione finale della centrale termoelettrica.

Dai dati forniti dal Ministero dei Trasporti risulta che il "consumo" di un autocarro di massa totale superiore a 26 t (circa 20 t di carico utile) ammonta a 2,8 km per litro di gasolio (densità = 0,835 kg/l) (www.mit.gov.it/mit/mop). Detto in termini energetici più appropriati, il consumo di gasolio è pari a 0,298 kep/km, corrispondente a 0,0125 GJ/km (1 kep = 41,868 10⁻³ GJ).

Rapportando il consumo di gasolio al carico utile di 9,6 t, si ottiene un consumo specifico del trasporto di circa 0,0013 GJ/(t·km) per la sostanza secca.

Dalla Tab.1 si ricava che l'input energetico associato alla produzione di 1 t di sostanza secca di pioppo è pari a circa $E_0 = 0,92$ GJ, mentre l'output energetico è: $E_{out} = 17,8$ GJ/t. Durante il trasporto verso la centrale, il valore dell'input energetico, E_{in} , aumenterà in ragione diretta della distanza chilometrica, S , percorsa secondo la relazione:

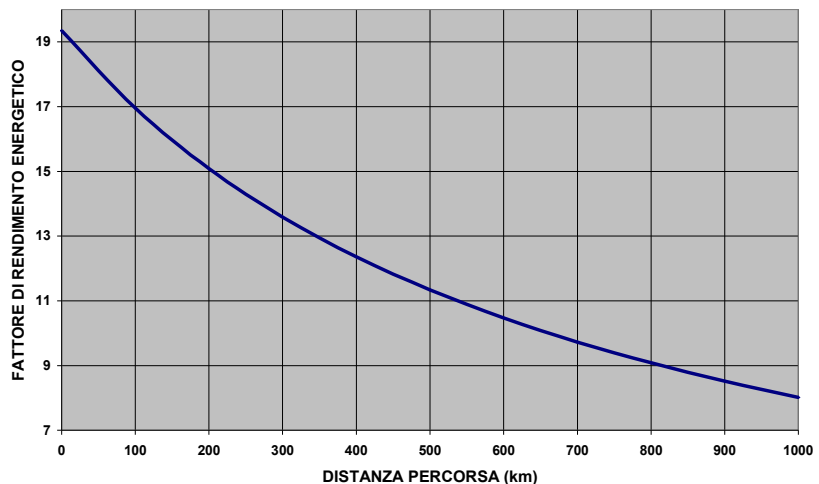
$$E_{in} = E_0 + 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot S \quad (\text{GJ/t}) \quad (6)$$

Pertanto, il fattore di rendimento energetico di ogni tonnellata di sostanza secca di biomassa (legno di pioppo) trasportata a bocca di centrale diminuirà in funzione della distanza, S , come:

$$E_{out}/E_{in} = 17,8 / (0,92 + 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot S) \quad (7)$$

La Fig.4 mostra il grafico della (7) in funzione della distanza di trasporto.

Fig.4 – Fattore di rendimento energetico del cippato di pioppo, EROEI, in funzione della distanza di trasporto fino alla centrale



Si nota che l'EROEI cala rapidamente al crescere della distanza di approvvigionamento, ma rimane ancora superiore a 8 per un trasporto di 1000 km. Si ricorda che il caso preso in esame si riferisce al legno di pioppo proveniente da colture a rapida rotazione. Pertanto, in questo caso,

il bilancio energetico finale, trasporto compreso, resta abbondantemente positivo anche per lunghe distanze.

La legna trasportata sugli autocarri, in transito a Roma verso Sud, è composta per la maggior parte da tronchi di quercia provenienti dal taglio dei boschi cedui a crescita spontanea. Ci si chiede se la precedente conclusione può essere considerata vera anche per questo caso.

Nel caso della coltivazione tradizionale dei boschi cedui (crescita spontanea e taglio ogni 20 anni circa), la spesa energetica si limita soltanto alla fase finale che comprende l'abbattimento degli alberi, la pulitura delle ramaglie, la spezzettatura, la raccolta e la sistemazione in cataste dei tronchi nei punti di carico. Non è presente alcun input energetico sotto forma di fertilizzanti chimici o di lavorazione del terreno; in qualche caso si può annotare un'operazione di diradamento delle ceppaie dopo circa 10 anni dal taglio. Si stima che

la spesa energetica per l'intera fase sia compresa fra 1,1% e 4,2% del contenuto energetico del legno secco raccolto (Hellrigl, 2001). Pertanto, la spesa energetica sarà contenuta nell'intervallo tra 0,198 e 0,756 GJ/t a seconda delle operazioni di manutenzione effettuate e della difficoltà della raccolta. Poiché il potere calorifico inferiore del legno di quercia anidro è pari a 18 GJ/t (Hellrigl, 2004), si ricava che il legno di quercia disponibile al margine del bosco possiede un EROEI che può andare da 24 nel caso peggiore a 91 in quello migliore. Anche nel caso più sfavorevole, il valore del fattore di rendimento è più alto di quello del legno di pioppo e, pertanto, si possono applicare qui le considerazioni conclusive del caso precedente: il grande valore iniziale dell'EROEI garantisce un margine tale che il bilancio energetico rimane positivo a bocca di centrale anche per il trasporto su lunghe distanze (1000 km).

In definitiva, dal punto di vista del rendimento energetico, il trasporto della legna su scala nazionale (entro 1000 km) non costituisce un fattore che possa limitare la diffusione della tecnologia per la produzione di termoelettricità da colture dedicate di biomasse.

Bilancio ambientale

a) Effetto delle emissioni di CO₂

Nella fase conclusiva della combustione della biomassa per la generazione d'elettricità, la quantità di CO₂ emessa nell'atmosfera può considerarsi all'incirca uguale a quella che era stata assorbita dalle piante durante il ciclo vegetativo. Tuttavia, il bilancio complessivo non può essere considerato in parità a causa delle emissioni che hanno accompagnato la fase precedente, che comprende sia le operazioni colturali, sia quelle della raccolta e del trattamento del prodotto legnoso, sia il suo trasporto dal luogo di produzione fino alla centrale termoelettrica. Come si è già visto, la spesa energetica della coltivazione intensiva del pioppo SRF è pari a 0,92 GJ/t. Assumiamo, per semplicità, che tale spesa possa essere attribuita interamente al consumo di gasolio delle macchine agricole utilizzate in tutta la fase colturale, dalla preparazione del terreno, alla raccolta e alla cippatura del legno. Convienne, pertanto, esprimere questo dato in termini di kg di olio equivalente, cioè in kep, utilizzando l'equivalenza 1 kep = 41,868 MJ. Otteniamo che la spesa energetica equivale a circa 22 kep di gasolio per tonnellata di sostanza secca.

Considerato che il fattore d'emissione della CO₂ nella combustione del gasolio è pari a 3,066 kg/kep, ad ogni tonnellata di cippato di pioppo anidro, immagazzinata nel luogo di produzione, si deve associare l'emissione di $(22 \times 3,066) = 67,4$ kg di CO₂. A questa quantità si devono ora aggiungere tutte le emissioni dovute al trasporto fino alla centrale.

Abbiamo già visto che il consumo di gasolio degli autocarri a pieno carico vale in media circa 0,298 kep/km e che il pieno carico per gli autocarri adibiti al trasporto del cippato di pioppo è di 85 m³, corrispondenti a 9,6 t di sostanza secca. Quindi, il consumo specifico di gasolio sarà pari a 0,031 kep/(t·km), che corrisponde all'emissione specifica di 0,095 kg di CO₂/(t·km). Pertanto, la quantità di emissioni per ciascuna tonnellata trasportata aumenterà in funzione della distanza d'approvvigionamento S (in km) secondo la relazione:

$$Q_1(\text{CO}_2) = 67,4 + 0,095 \cdot S \quad (\text{kg CO}_2/\text{t}) \quad (8)$$

Ricordando che il contenuto energetico del legno di pioppo anidro è pari a 17,8 GJ/t, la (8) può essere riscritta come:

$$Q_2(\text{CO}_2) = 3,786 + 5,35 \cdot 10^{-3} \cdot S \quad (\text{kg CO}_2/\text{GJ}) \quad (9)$$

Con un'efficienza di trasformazione elettrica tipica per le centrali a biomassa del 30%, ciascun GJ termico dà luogo a 0,3 GJ elettrici, cioè 83,3 kWh (1 GJ = 277,8 kWh). Pertanto, la (9) potrà tradursi in:

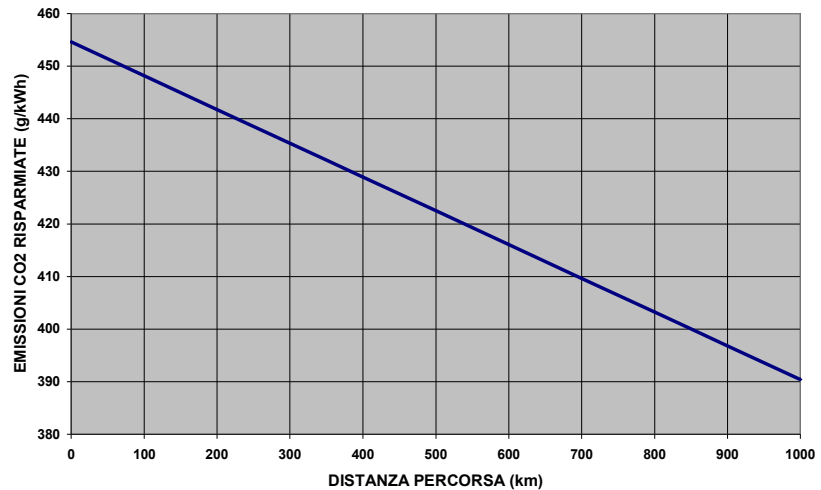
$$Q_3(\text{CO}_2) = 45,4 + 64,2 \cdot 10^{-3} \cdot S \quad (\text{g CO}_2/\text{kWh}) \quad (10)$$

I valori ottenuti da questa espressione vanno, infine, confrontati con il livello medio dell'emissioni dovute al parco dei generatori termoelettrici che alimentano la rete italiana. Esso ammontava nel 2009 a circa 500 g di CO₂ per kWh circolante nella rete (www.assoelettrica.it/popup/PRIMO_PIANO2/). Pertanto, ogni kWh generato con le biomasse, che va a sostituire in rete il kWh convenzionale, consente di risparmiare una quantità di CO₂, R(CO₂), espressa dalla relazione:

$$R(\text{CO}_2) = 500 - Q_3(\text{CO}_2) = 454,6 - 64,2 \cdot 10^{-3} \cdot S \quad (11)$$

Il risparmio R è massimo quando la biomassa è utilizzata nel luogo di produzione, (S=0) mentre esso si riduce al crescere della distanza di approvvigionamento della biomassa, come è mostrato nel grafico di Fig.5.

Fig.5 – Risparmio di emissioni di CO₂ per ogni kWh immesso in rete in funzione della distanza di approvvigionamento della biomassa



Nell'ipotesi più sfavorevole del trasporto della biomassa per 1000 km, abbiamo ancora un risparmio di 390 g di CO₂ per kWh elettrico immesso in rete. Pertanto, nel caso preso in esame della biomassa da colture dedicate di pioppo SRF, si può concludere che il bilancio di riduzione dell'emissioni rimane nettamente positivo per l'approvvigionamento del materiale anche da distanze di 1000 km.

b) Effetto sul territorio

Il fatto che l'entità dei sussidi governativi consenta di realizzare profitto anche bruciando biomasse di provenienza molto lontana può produrre sul territorio effetti preoccupanti. La possibilità del guadagno immediato può accelerare la frequenza del taglio dei boschi con il rischio speculativo che, senza adeguati controlli, si possa arrivare ad una vera e propria deforestazione.

Si ricorda che il livello delle incentivazioni pubbliche è stato fissato dalla attuale normativa essenzialmente per aiutare le colture dedicate SRF ed il recupero dei residui agro-alimentari. Purtroppo, come testimonia il grande traffico Nord-Sud della legna da ardere, gl'incentivi economici hanno fatto divenire remunerativo il trasporto del combustibile anche per distanze superiori ai 500 km: questo può avere effetti disastrosi sul patrimonio boschivo nazionale a causa dello sfruttamento troppo intensivo delle foreste. Può accadere che, mentre si cerca di combattere la crisi climatica investendo ingenti risorse pubbliche nella riforestazione del territorio, dall'altro lato, si produce l'effetto contrario con lo sfruttamento eccessivo dei boschi.

Bibliografia

1. Bavusi A., Dommarco P., 2010, *Biomasse, green o black economy?*, www.olambientalista.it
2. Coiante D., 2004, *Le nuove fonti d'energia rinnovabile: tecnologie, costi e prospettive*, Franco Angeli Ed., Milano 2004, Appendice A.5.1, p.129.
3. Hellrigl B., 2001, *Numeri per la dendroenergetica*, www.tesaf.unipd.it/pettenella/papers
4. Hellrigl B., 2004, *Il potere calorifico del legno*, Progetto Fuoco: Le biomasse nel panorama energetico nazionale, Verona 18-19 marzo 2004, www.progettofuoco.com/media/piemmeti/documents
5. Venturi G., Bonari E., 2004, *Produzione di biomassa da colture dedicate e non*, Convegno Nazionale sulla Bioenergia, Roma, 12/5/2004
6. Venturi G., Monti A., 2005, *Energia da colture dedicate: aspetti ambientali ed agronomici*, Atti della Conferenza Nazionale sulla Politica Energetica, Bologna, 18-19 aprile 2005